

RAPPORT DE RECHERCHE



Essais de ventilation et de qualité de l'air dans des maisons chauffées à l'électricité



LA SCHL : AU CŒUR DE L'HABITATION

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) est l'organisme national responsable de l'habitation au Canada, et ce, depuis plus de 60 ans.

En collaboration avec d'autres intervenants du secteur de l'habitation, elle contribue à faire en sorte que le système canadien de logement demeure l'un des meilleurs du monde. La SCHL aide les Canadiens à accéder à un large éventail de logements durables, abordables et de qualité, favorisant ainsi la création de collectivités et de villes dynamiques et saines partout au pays.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, veuillez consulter le site Web de la SCHL à l'adresse suivante :
www.schl.ca

Vous pouvez aussi communiquer avec nous par téléphone, au 1-800-668-2642, ou par télécopieur, au 1-800-245-9274.

De l'extérieur du Canada : 613-748-2003 (téléphone);
613-748-2016 (télécopieur).

La Société canadienne d'hypothèques et de logement souscrit à la politique du gouvernement fédéral sur l'accès des personnes handicapées à l'information. Si vous désirez obtenir la présente publication sur des supports de substitution, composez le 1-800-668-2642.

**Essais de ventilation et de qualité
de l'air dans des maisons
chauffées à l'électricité**

Préparé par Stricker Associates Inc. en collaboration avec :

**Laboratoire des technologies électrochimiques
et des électrotechnologies (LTÉE)
d'Hydro-Québec
600, avenue de la Montagne
Shawinigan (Québec)
G9N 7N5**

Directeur de projet : Denis Parent

et

**Division de la recherche
Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1S 0L2**

Directeur de projet : Don Fugler

Novembre 1994

NOTE: ISSUED ALSO IN ENGLISH UNDER THE TITLE:

**TESTING OF VENTILATION SYSTEMS IN FORCED WARM AIR COMBUSTION
HEATED HOUSES**

AVERTISSEMENT

LA SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE LOGEMENT, L'ORGANISME DU LOGEMENT DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL, A POUR MANDAT D'APPLIQUER LA LOI NATIONALE SUR L'HABITATION.

CETTE LOI A POUR OBJET D'AIDER À AMÉLIORER LES CONDITIONS D'HABITATION ET DE VIE AU CANADA. C'EST POURQUOI LA SOCIÉTÉ S'INTÉRESSE À TOUT CE QUI CONCERNE L'HABITATION, L'EXPANSION ET LE DÉVELOPPEMENT URBAINS.

AUX TERMES DE LA PARTIE IX DE LA LOI, LE GOUVERNEMENT DU CANADA AUTORISE LA SCHL À CONSACRER DES FONDS À LA RECHERCHE SUR LES ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES ET TECHNIQUES DU LOGEMENT ET DES DOMAINES CONNEXES, AINSI QU'À EN PUBLIER ET À EN DIFFUSER LES RÉSULTATS. LA SCHL A DONC L'OBLIGATION LÉGALE DE VEILLER À FAIRE LARGEMENT CONNAÎTRE TOUT RENSEIGNEMENT DE NATURE À AMÉLIORER LES CONDITIONS D'HABITATION ET DE VIE.

LA PRÉSENTE PUBLICATION EST L'UN DES NOMBREUX MOYENS D'INFORMATION QUE PRODUIT LA SCHL GRÂCE AU CONCOURS FINANCIER DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL. LES OPINIONS EXPRIMÉES SONT CELLES DE L'AUTEUR ET NE CORRESPONDENT PAS NÉCESSAIREMENT À CELLES DE LA SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE LOGEMENT.

Remerciements

Ce rapport est le fruit d'un travail gigantesque accompli par le personnel technique de LTÉE, par les bénévoles et leurs familles qui nous ont accueillis dans leur demeure et ont soigneusement consigné les renseignements nécessaires ainsi que par le personnel qui était responsable des opérations sur le terrain et des essais en laboratoire.

Nous remercions la Société canadienne d'hypothèques et de logement pour sa contribution de 50 000 \$ à la réalisation de cette étude et sa collaboration technique à l'étude du modèle AQ1. Nos remerciements s'adressent également à Don Fugler, de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, et à Tom Hamlin, de Ressources naturelles Canada, qui nous ont apporté à la fois leur soutien et de précieuses suggestions. Nous tenons également à remercier Doug Wilson, de l'Hydro Ontario, qui nous a fourni des données comparatives sur la qualité de l'air intérieur mesurée dans des maisons ontariennes.

Enfin, des remerciements particuliers à Denis Parent, gestionnaire du projet, à Jean Demontigny pour son travail sur le terrain et la compilation des données, de même qu'à Alain Moreau et à Michel Falardeau, qui ont pris la relève durant l'affectation de Denis Parent à l'étranger. L'auteur doit beaucoup à l'équipe de projet pour sa collaboration, sa rigueur et son efficacité.

Saul Stricker. P.Eng.
Président, Stricker Associates Inc.

Résumé

Cette étude sur le terrain visait à déterminer s'il existe une corrélation entre l'étanchéité à l'air mesurée et la ventilation, d'une part, et la qualité de l'air intérieur, d'autre part, ainsi qu'à examiner les principaux facteurs qui déterminent les taux d'humidité intérieure en automne et en hiver. Ces renseignements sont nécessaires pour qu'il soit possible de déterminer s'il existe des niveaux d'étanchéité à l'air des immeubles qui se caractérisent par une absence de problème de qualité de l'air intérieur et d'humidité excessive, l'hypothèse étant que les immeubles se situant dans la partie supérieure de la gamme peuvent être rendus étanches en toute sécurité. Le rapport présente les résultats d'essais qui avaient pour but de mesurer le taux d'émission des polluants de divers polluants de l'air intérieur dans trente maisons du Québec et compare les chiffres obtenus à des données comparables concernant des maisons situées en Ontario. Ces renseignements permettent d'évaluer la ventilation minimale requise pour maintenir le niveau des divers polluants à des taux acceptables.

Dans huit des trente maisons, on a également procédé à des observations supplémentaires qui avaient pour but d'étudier les effets des habitudes de vie et de divers systèmes de ventilation sur la qualité de l'air et le taux d'humidité à l'intérieur des maisons, de même qu'à évaluer les taux de ventilation réels dans diverses circonstances. On s'est servi du modèle AQ1 pour prédire le taux de ventilation naturel de plusieurs maisons. Les constatations révèlent que la corrélation entre l'étanchéité à l'air mesurée et la ventilation naturelle (et la qualité de l'air intérieur) doit tenir compte de nombreux facteurs, dont l'utilisation d'équipement de combustion, les caractéristiques de la maison et les habitudes de vie. Dans la plupart des maisons, il arrive, par moments, que le taux de ventilation naturelle soit suffisamment bas pour que le niveau de certains polluants dépasse le taux maximum recommandé.

Le rapport conclut que la corrélation entre la qualité de l'air intérieur et l'étanchéité à l'air mesurée est faible et que toute maison, qu'elle soit hermétique ou non, peut avoir des taux de pollution excessifs. Certaines des activités des occupants influent grandement sur la production de certains contaminants de l'air. Les polluants limitatifs relevés dans le groupe de maisons visées par l'étude étaient le formaldéhyde, les PRS et le bioxyde de carbone, les proportions étant à peu près équivalentes.

TABLE DES MATIÈRES

1. Sélection des échantillons et procédures d'essai	2
2. Résultats	6
2.1 Niveaux moyens des contaminants d'air -- Essai d'une durée d'une semaine, dans 30 maisons.....	6
2.2 Évaluation du taux d'émission des polluants pour les maisons du Québec	8
2.2.1 Particules respirables en suspension	10
2.2.2 Composés organiques volatils	11
2.2.3 Formaldéhyde	13
2.2.4 Radon.....	14
2.2.5 Bioxyde de carbone.....	14
2.2.6 Vapeur d'eau	14
2.2.7 Comparaison avec les données de l'Ontario	17
2.3 Taux de renouvellement d'air minimal	17
2.4 Résultats des essais de longue durée sur la qualité de l'air dans 8 maisons	23
2.4.1 Dynamique du bioxyde de carbone entre les zones	23
2.4.2 Variation saisonnière dans les niveaux d'humidité	25
2.5 Taux de ventilation quotidien moyen prévu	27
2.6 Effets des systèmes de ventilation sur l'environnement intérieur.....	27
2.6.1 Systèmes de ventilation à turbine (Système E).....	28
2.6.2 Système d'extraction seulement (Système A).....	30
2.6.3 Système de mélange à partir de ventilateurs au plancher (Système B).....	31
2.6.4 Système d'amenée d'air frais et ensemble d'extraction des chambres à coucher (Système C)	31
2.6.5 Système de distribution d'air avec alimentation et extraction équilibrées (Système D).....	32
2.7 Le coût d'une ventilation additionnelle	32
2.7.1 Maisons étanches	32
2.7.2 Maisons peu étanches	33
2.8 Différence de pression au sous-sol	33
3. Modèle de ventilation	35
4. Résumé	37
5. Conclusions.....	39

Les annexes sont publiés sous pli séparé

Résultats Des Essais Menés Sur Place

Cette étude avait comme objectifs de déterminer la corrélation entre la ventilation et l'étanchéité à l'air mesurée à l'intérieur de maisons échantillonnées au Québec et d'étudier les effets de la ventilation sur les niveaux d'humidité et de contaminants d'air d'intérieur.

1. Sélection des échantillons et procédures d'essai

Trente maisons ont été sélectionnées dans la région de Trois-Rivières, en se fondant sur les fuites d'air aux portes, telles que déterminées à l'aide d'un ventilateur d'essai réglé à 50 Pa. La sélection des maisons d'échantillonnage s'est faite en s'assurant que la distribution des niveaux d'étanchéité des maisons soit semblable à celle des maisons du Programme Éval-Iso. La distribution de fuites d'air déterminée au cours du Programme Éval-Iso est représentative des fuites d'air des maisons au Québec. Le tableau 1.A ci-après énumère la distribution de fuites d'air déterminée au cours du Programme Éval-Iso et la distribution des fuites d'air dans les trente maisons qui font l'objet de cette étude.

Tableau 1.A Distribution des fuites d'air de maisons au Québec et nombre choisi dans notre échantillon (Renouvellements d'air à l'heure, à 50 Pa)

RA/h ₅₀	Distribution au Québec, en %	Échantillon
1,25	0,1	0
1,75	2,2	1
2,25	6,9	2
2,75	9,7	3
3,25	11,2	3
3,75	11	3
4,25	12,5	4
4,75	7,6	2
5,25	5,4	2
5,75	6,2	2
6,25	4,6	1
6,75	4,4	1
7,25	1,4	0
7,75	2,2	1
8,25	1,8	1
8,75	1,8	1
9,25	2,5	1
9,75	0,3	0
10,25	1,6	1
10,75	1,1	0
11,25	0	0
11,75	4,5	1
16,25	1	0
	Total	30

Voici une description succincte du protocole d'essai : les trente maisons choisies étaient à faible distance les unes des autres et, de plus, à quelques kilomètres près d'une station météorologique de contrôle, de façon que les données atmosphériques utilisées à n'importe quel moment étaient les mêmes pour toutes les maisons. La qualité de l'air a été mesurée au cours d'une période d'une semaine dans chacune de ces maisons. Huit maisons constituant un sous-groupe ont été choisies afin de poursuivre des essais beaucoup plus détaillés pour une période d'environ 1 an. La sélection de ces huit maisons a été motivée par l'intérêt porté à leurs systèmes de ventilation et par le fait qu'elles étaient assez étanches à l'air.

Mesures prélevées dans les 30 maisons

L'on a pris en note les dimensions et la forme physique de chaque maison et, au cours d'une période d'une semaine entre les mois de décembre et de mars, l'on a monté des trousseaux d'échantillonnage dans chacune des maisons, afin de déterminer le niveau moyen des variables suivantes :

Variable	Système d'échantillonnage
Taux moyen de renouvellement d'air	Méthode du traceur PFT. Cette méthode utilise une, deux ou trois sources de gaz et plusieurs modèles par maison. La période d'essai est de 7 jours. La fourniture de matériel et l'analyse des résultats ont été réalisées par les Laboratoires nationaux Brookhaven de Long Island.
Particules d'air à l'intérieur :	Cassette de filtre hygiénique d'air pompé, au cours d'une période de 7 jours (microgrammes par m. cu.)
COVT :	Capteur passif absorbant les composés organiques volatiles.
Formaldéhyde :	Dosimètre passif de AQR1 (tube doté d'un couvercle), à résolution correspondant à $\pm 0,02$ ppm
Radon :	Échantillonnage par filtre et par pompage, au cours d'une période de 7 jours, en conformité avec l'Institut canadien de radioprotection
Bioxyde de carbone et vapeur d'eau	Enregistreur YES 203 situé au salon.

Les niveaux moyens de contaminants, le volume de la maison et le taux moyen de ventilation au cours de la semaine ont permis de calculer le "taux d'émission des polluants" de chaque contaminant dans l'air.

Enregistrement en continu et à long terme dans le groupe de 8 maisons

La surveillance en continu de la qualité de l'air (bioxyde de carbone et niveau d'humidité) à l'intérieur des huit maisons s'est poursuivie au cours des quelques premières semaines de l'automne, afin d'aider à la planification de changements au système de ventilation de certaines de ces maisons. Des changements ont été apportés aux systèmes de ventilation de cinq maisons avant la fin du mois de décembre. Comme l'indique le texte plus loin, les systèmes ont été assujettis à différents modes de contrôle. Trois des huit maisons ont servi à titre de maisons témoins, où aucun changement n'avait été prévu au niveau de l'équipement ou de l'exploitation de ces maisons au cours de l'année. De cette façon, les changements aux variables observées qui se rapportaient aux conditions atmosphériques pouvaient être identifiés et repérés, offrant

ainsi une possibilité de séparer les effets climatiques des effets du nouvel équipement de ventilation sur la qualité de l'air intérieur.

Les données recueillies des huit maisons assujetties à une surveillance en continu ont été traitées de façon à pouvoir réviser et comparer les résultats sur une base de 10 minutes. Les variables atmosphériques appropriées ont été regroupées sur la même base de temps que ces données.

Les données recueillies pour chacune des huit maisons se présentent comme suit :

Sur une base moyenne de dix minutes, pendant toute l'année :

- Niveau de bioxyde de carbone (dans la chambre principale)
- Consommation totale de la maison, en kWh
- Différence de pression de l'intérieur à l'extérieur, en Pascals
- Température à l'extérieur
- Humidité absolue intérieure dans la chambre principale (dérivée de la température et de l'humidité relative intérieure enregistrées)
- Humidité absolue à l'extérieur (dérivée de la température et de l'humidité relative extérieure enregistrées)
- Vitesse du vent
- Direction du vent

Sur une base de dix minutes, pendant une semaine :

- Niveau de bioxyde de carbone (dans le salon)
- Humidité absolue dans le salon (dérivée)
- Niveau du bioxyde de carbone (dans le sous-sol de certaines maisons)

Voici l'énumération des variables assujetties au contrôle des occupants tout au long de l'année :

- Nombre de cigarettes fumées (par jour)
- Ouverture des fenêtres (en heures par jour et surface des ouvertures)
- Taux d'occupation (heures par personne par jour)
- Fonctionnement du ventilateur d'extraction (en heures par semaine)
- Sécheuse à linge (en heures par semaine)
- Quantité de bois brûlé (par jour)
- Nombre de chandelles brûlées (par jour)

De façon à assurer une présentation adéquate de la grande quantité de données, les prélèvements aux 10 minutes ont fait l'objet d'une mise en moyenne pour chaque période de 24 heures, à compter de minuit, et les résultats ont été présentés sur un ensemble de chiffriers. Se reporter à l'annexe 1. Ces résumés de données ont servi d'outil de 'navigation' pour identifier des périodes spécifiques de temps ou d'événements, où des comparaisons importantes pouvaient être faites relativement à la qualité de l'air, comme dans le cas d'une utilisation ou d'une inutilisation du système de ventilation, d'un grand rassemblement de personnes, d'une absence de personnes à la maison, de la fermeture des portes de chambres ou de leur maintien en position ouverte, de l'emploi du foyer ou de son inutilisation, de même que de la détection de changements graduels de la qualité de l'air intérieur sur une période de temps. Le tableau 1.B présente les huit maisons choisies aux fins d'enregistrement détaillé. Un total de quatre systèmes de ventilation ont été installés, selon les descriptions de la note en bas de page qui suit le tableau 1.B. Un cinquième type de système de ventilation avait antérieurement été prévu dans deux des maisons; il s'agit du système 'E'. La collecte des données s'est faite sur une base hebdomadaire, au niveau d'une base de données. Par la suite, les données ont été tracées et sur

une base quotidienne (de minuit à minuit).

Tableau 1.B. Description sommaire des maisons d'essai

Maison n°	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8
Objet	Référence	Essai	Essai	Essai	Essai	Référence	Référence	Essai
Système d'essai	Turbine 'E'	Turbine 'E'	'A'	'B'	'C'	Sans objet	Sans objet	'D'
Étage(s)	1	1	1	1	1	1	1	2
Foyer au bois et son utilisation	Foyer, utilisé à l'occasion	sans objet	Foyer, utilisé à l'occasion	Foyer, utilisé à l'occasion poêle à bois, souvent utilisé	Foyer, utilisé à l'occasion	Foyer, jamais utilisé	Foyer, à combustion lente	Foyer, souvent utilisé
Endroit	Sous-sol		Sous-sol	Sous-sol	Rez-de-ch.	Rez-de-ch.	Sous-sol	Rez-de-ch.
Porte au sous-sol		Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Turbine	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Ventilateur/Salle de toil.	Non	1	1	1	1 au sous-sol	Non*	Non	Non
Nombre de fumeur(s)	2	1	0	0	0	1	0	0
Fenêtres ouvertes	À l'occasion	Oui	Oui	Non	Non	Non	À l'occasion	Oui
Observation		Turbine, à boucher						Échangeur d'air
À l'occasion, le jour	1 chien	2	1 chat	3 + 1 chat	0	2 et 1 chat	2	2 et 1 chien
À l'occasion, la nuit	4+1 chien	4	2 et 1 chat	4+1 chat	5	3 et 1 chat	3	4 et 1 chien
RA/h50	3,66	4,69	3,04	2,81	2,28	3,27	3,44	2,52

*Un ventilateur mural a été installé dans un mur extérieur au milieu de l'hiver, afin de constituer un système additionnel 'A' à utiliser au printemps.

Systèmes d'essai :

- 'A' = Système d'extraction seulement; obturer les fuites au sous-sol (limitation du radon)
- 'B' = 2 ventilateurs dans le plancher, à l'état non équilibré
- 'C' = Remplacer le ventilateur d'extraction par un nouveau ventilateur non bruyant; ajouter un système de mélange d'air frais
- 'D' = Réaménager le système de ventilation, ainsi que les prises et sorties d'air, à équilibrer
- 'E' = Système à turbine, ayant le même effet qu'une cheminée naturelle à conduit de 6" de diamètre

Le tableau 1.C présente les niveaux maximum recommandés pour les contaminants à l'étude par rapport à une exposition continue à l'air¹. La plupart des contaminants présentent les deux niveaux suivants : la gamme acceptable d'exposition à long terme (GAELT) qui correspond, à partir des renseignements existants, à la gamme de concentration depuis laquelle l'on croit qu'une personne peut être exposée tout au long de sa vie sans risque excessif à sa santé, et; la gamme acceptable d'exposition à court terme (GAECT) qui correspond, à partir des renseignements existants, à la gamme de concentration depuis laquelle l'on croit qu'une personne peut être exposée sans risque excessif à sa santé au cours de la période spécifiée. Pour certains contaminants comme le radon, Santé Canada recommande un 'niveau d'intervention' au-dessus duquel des mesures devraient être prises afin de réduire le niveau de contamination ambiante.

Tableau 1.C Niveaux maximum recommandés de contaminants dans l'air

Contaminant	Gamme acceptable d'exposition à long terme	Gamme acceptable d'exposition à court terme
Particules respirables en suspension; diamètre aérodynamique moyen de masse, à <2,5 m	40 g/m ³	100 g/m ³ (1 heure)
Composés organiques volatils totaux	*Aucune irritation à 0,2 mg/m ³ *Les occupants se plaignent à partir de 3 mg/m ³	
Radon	2,7 pCi/L (en Europe) 4 pCi/L (EPA, É -U)	800 Bq/m ³ (Niveau d'intervention de Santé Canada) 21,6 pCi/L
Formaldéhyde	60 g/m ³ (0,05 ppm)	120 g/m ³ (0,10 ppm)
Bioxyde de carbone	3 500 ppm (Santé Canada) 1 000 ppm (ASHRAE 62-1989) 650 ppm (Europe, satisfaction, à 90 p. 100)	
Humidité relative maximale en hiver	55 p 100	
Humidité relative maximale en été	65 p 100	

*Molhave, L., Volatile Organic Coumpounds, Indoor Air Quality and Health, Indoor Air 1(4):357-76.

2. Résultats

2.1 Niveaux moyens des contaminants d'air -- Essai d'une durée d'une semaine, dans 30 maisons

Le tableau 2.1.A présente les résultats d'essai obtenus sur la concentration des contaminants dans l'air des trente maisons à l'étude. Ce tableau renferme le taux moyen de renouvellement naturel de l'air, de même que les concentrations moyennes de contaminants enregistrées au

¹Health Canada, "Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality", A Report of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, revised July 1989.

cours de la semaine d'essai. Il nous est impossible de déterminer si les lectures prélevées sont représentatives d'une année ou si les facteurs de variance sont d'une heure à l'autre ou d'une journée à l'autre, parce qu'il s'agit ici d'observations recueillies et mises en moyenne dans l'intervalle d'une semaine. Les valeurs qui sont supérieures à celles comprises dans la gamme acceptable d'exposition à long terme de Santé Canada au cours de la période d'essai d'une semaine sont présentées en caractères gras et italiques à l'intérieur du même tableau.

Tableau 2.1.A Vue sommaire des concentrations moyennes de polluants au cours de l'essai d'une semaine

Maison n ^o	Volume	PRS	COV	Formald.	Radon	CO ₂	Taux d'occupation	Renouvel. d'air	Renouvel. d'air, à 50pa
Unités	m ³	µg/m ³	mg/m ³	ppm	pCi/L	ppm	personne-heures/jour	à l'heure,	à l'heure,
1*	444	83	0,4	0,054	0,2	910	102	0,12	3,66
2*	306	76	0,4	0,046	0,2	994	89	0,31	4,69
3	486	27	0,7	0,094	0,6	956	39	0,11	3,04
4***	505	20	1,7	0,099	0,4	1118	83	0,14	2,81
5	515	38	0,7	0,082	1,0	1300	77	0,1	2,28
6*	517	74	0,3	0,083	0,8	949	69	0,1	3,27
7	487	23	0,4	0,056	0,6	723	55	0,1	3,44
8**	737	35	2,3	0,042	0,6	903	83	0,13	2,52
9	478	19	0,3	0,037	0,4	903	82	0,21	5,08
10	371	17	0,3	0,070	0,6	784	69	0,08	4,24
11*	513	60	0,7	0,071	0,2	784	74	0,24	5,50
12	412	25	<0,1	0,035	0,4	1266	63	0,2	2,86
13	504	26	0,2	0,021	0,6	592	121	0,58	6,81
14*	548	74	0,2	0,054	0,4	919	69	0,15	2,44
15	429	26	0,5	0,043	0,2	676	40	0,19	4,13
16	478	18	0,5	0,049	0,2	1234	96	0,2	2,46
17	387	19	0,6	0,043	0,2	665	125	0,37	7,14
18	397	35	0,4	0,033	0,4	825	32	0,38	8,30
19	325	26	0,7	0,034	1,8	1507	39	0,14	3,17
20	519	11	0,7	0,014	0,6	890	101	0,22	9,96
21*	270	11	0,7	0,066	0,4	792	39	0,2	10,06
22*	426	21	0,4	0,046	1,0	1069	90	0,33	3,32
23*	441	43	2,5	0,024	1,4	758	80	0,18	4,18
24*	221	26	0,7	0,032	0,6	966	69	0,38	8,55
25	748	10	0,3	0,021	0,4	570	69	0,28	5,63
26*	444		0,4	0,030	0,8	579	24	0,22	3,49
27*	231	42	0,3	0,038	0,8	878	74	0,38	11,35
28	456	22	0,2	0,025	0,2	840	90	0,5	3,45
29*	418	33	0,3	0,045	4,4	1034	59	0,17	3,65
30*	455	92	1,0	0,051	3,4	1491	99	0,15	1,72
Moyenne	449	35,6	0,63	,048	,79	929	73	,23	4,77

* Maison dans laquelle on fume.

** Maison et garage attenant (La maison n^o 10 est séparée du garage par une porte).

*** Résine à base d'époxy utilisée dans le sous-sol.

Les valeurs inscrites en caractères gras représentent des niveaux supérieurs à ceux compris à l'intérieur des niveaux établis par Santé Canada.

2.2 Évaluation du taux d'émission des polluants pour les maisons du Québec

Le 'taux d'émission des polluants' d'un aérocontaminant dans une maison dont le volume est connu peut être calculée en mesurant le niveau moyen de l'aérocontaminant à l'étude et le taux moyen d'infiltration d'air au cours de la même période. Le taux d'émission des polluants 'S' s'obtient comme suit :

$S = \text{Volume de la maison (m}^3\text{)} \times \text{le niveau moyen du contaminant (mg/m}^3\text{)} \times \text{le taux de renouvellement d'air (RA/h)}$

En se servant des unités indiquées, le S se définit en unités de mg/h.

Le taux moyen de renouvellement d'air pour chaque maison au cours de la semaine d'essai a été déterminé en se servant de la méthode du traceur PFT. En raison du nombre limité d'instruments disponibles, les essais dans les 30 maisons ont été réalisés sur une base séquentielle et en petits groupes. Par conséquent, les conditions atmosphériques au cours de l'établissement des taux moyens de renouvellement d'air n'ont pas été identiques pour le groupe d'essais.

Les résultats du calcul des niveaux de polluants dans les maisons offrent donc une vue d'ensemble de chaque maison à l'intérieur d'un intervalle de temps précis, mais dans des conditions atmosphériques distinctes. Le tableau 2.2.A présente les résultats de ces essais, avec le taux de renouvellement d'air naturel exprimé en litres par seconde.

Le taux d'émission des polluants de chaque contaminant s'avère utile aux fins d'établissement des niveaux de contaminants dans chaque maison, dans des conditions de ventilation distinctes, soit par infiltration naturelle ou par ventilation forcée. L'exactitude des évaluations est affectée par l'uniformité de la diffusion des aéropolluants dans l'ensemble de la maison ainsi que par la stabilité de le taux d'émission des polluants de chaque contaminant sur une période de temps.

Nous nous attendons à ce que les résultats des calculs du taux d'émission des polluants soient représentatifs de l'ensemble des maisons existantes parce que l'échantillonnage des 30 maisons choisies aux fins d'essais offrait une distribution d'étanchéité à l'air semblable à celle de l'ensemble des maisons au Québec. Les observations présentées au tableau 2.1.A ont servi à calculer le taux d'émission des polluants des aérocontaminants qui font l'objet du tableau 2.2.A.

Le calcul du taux d'émission des polluants du bioxyde de carbone sous-entend que l'air extérieur renferme 350 ppm de CO₂ et que cette quantité a été retranchée des niveaux enregistrés dans les maisons. Le taux d'émission des polluants de la vapeur d'eau a été calculée en utilisant la différence en humidité absolue entre la moyenne de l'air intérieur et la moyenne de l'air extérieur au cours de la semaine d'essai. Pour ce qui est du calcul du taux d'émission des polluants des COV, du formaldéhyde et du radon, l'on a sous-entendu que la valeur des polluants dans l'air extérieur correspondrait à zéro.

Tableau 2.2.A Taux d'émission des polluants d'aérocontaminants dans 30 maisons du Québec

Maison n°	Volume	Taux de renouvel d'air nat.	Taux d'occupation	PRS	COV	Formald.	Radon	CO ₂	Humidité
Unités:	m ³	L/s	Min-Hr/jour	mg/h	mg/h	mg/h	µCi/h	g/h	g/h
1*	444	14,8	102	4,42	21	3,54	11	59	259
2*	306	26,4	89	7,21	38	5,37	19	120	488
3	486	14,9	39	1,44	37	6,18	32	64	295
4***	505	19,6	83	1,41	120	8,61	28	107	
5	515	14,3	77	1,96	36	5,19	52	96	358
6*	517	14,4	69	3,83	16	5,28	41	61	342
7	487	13,5	55	1,12	19	3,35	29	36	239
8**	737	26,6	83	3,35	220	4,95	57	104	332
9	478	27,9	82	1,91	30	4,57	40	109	
10	371	8,2	69	0,50	9	2,56	18	25	
11*	513	34,2	74	7,39	86	10,75	25	105	
12	412	22,9	63	2,06	7	3,55	33	149	
13	504	81,2	121	7,60	58	7,55	175	139	
14*	548	22,8	69	6,08	16	5,46	33	92	
15	429	22,6	40	2,12	41	4,31	16	52	
16	478	26,6	96	1,72	48	5,76	19	166	
17	387	39,8	125	2,72	86	7,57	29	89	
18	397	41,9	32	5,28	60	6,12	60	141	
19	325	12,6	39	1,18	32	1,90	82	104	
20	519	31,7	101	1,26	80	1,97	69	121	
21*	270	15,0	39	0,59	38	4,38	22	47	
22*	426	39,1	90	2,95	56	7,95	141	199	
23*	441	22,1	80	3,41	198	2,34	111	64	
24*	221	23,3	69	2,18	59	3,31	50	102	
25	748	58,2	69	2,09	63	5,41	84	91	
26*	444	27,1	24		39	3,6	78	44	
27*	231	24,4	74	3,69	26	4,10	70	91	
28	456	63,3	90	5,02	46	7,01	46	220	
29*	418	19,7	59	2,34	21	3,93	313	96	
30*	455	19,0	99	6,35	68	4,28	232	153	
Moyenne	449	27,6	73	3,21	55,9	5,03	67,1	102	330

- * Maison dans laquelle on fume.
- ** Maison et garage attenant
- *** Résine époxydique utilisée dans le sous-sol.

À remarquer que la ventilation naturelle est exprimée en L/s plutôt qu'en RA/h, ce qui insinue qu'il s'agit du L/s (associée au taux d'émission des polluants) qui détermine le niveau ultime de polluants intérieurs des maisons. Le taux de ventilation a d'abord été mesuré dans les premières huit maisons à la fin de l'automne et les essais dans les autres maisons se sont déroulées plus tard au cours de l'hiver.

2.2.1 Particules respirables en suspension

Il y avait une différence marquée dans les niveaux de PRS entre les maisons de fumeurs et celles de non fumeurs. Les maisons dans lesquelles l'on fumait (plus de 4 cigarettes par semaine) sont symbolisées par un astérisque. Les niveaux moyens de PRS dans les maisons de fumeurs correspondaient à $52,9 \text{ g/m}^3$ et ceux des non fumeurs, à $23,3 \text{ g/m}^3$.

Dans certaines des maisons où l'utilisation du foyer ou d'un poêle à bois était assez fréquente, le taux d'émission des polluants des particules était assez élevée. Le tableau 2.2.1.A énumère les trente maisons et indique le niveau moyen de particules respirables en suspension (PRS) dans chaque maison et le taux d'émission des polluants des PRS; ce tableau fournit aussi des données sur les habitudes de tabagisme et sur l'utilisation des foyers dans les maisons. Le taux d'émission des polluants des PRS dans les maisons n^{os} 13 et 18 (maisons où il n'y a pas de tabac utilisé) correspond aux plus hauts taux d'émission enregistrés dans tout le groupe, soit à 5,3 et à 7,6 mg/h, ce qui est probablement dû à l'utilisation continue du foyer et du poêle à bois. Les maisons nos 2 et 11, où le foyer n'était pas utilisé, présentent une taux d'émission des polluants de PRS semblablement élevée, soit au-dessus de 7 mg/h, ce qui est probablement causé par l'emploi marqué du tabac.

À remarquer aussi que parmi certaines maisons où la combustion du bois était fréquente, il a été observé les plus faibles concentrations de PRS, ce qui veut donc dire que la production de PRS n'est pas nécessairement liée à l'utilisation du bois, mais dépend également de l'appareil de combustion installé et de l'habileté de l'opérateur à allumer son feu.

Tableau 2.2.1.A Particules respirables en suspension

Maison n°	Volume	Conc, de PRS	Taux d'émission des polluants	Fumage	Chandelles	Brûlage du bois	Utilisation du bois
Unités :	m ³	micro-gramme /m ³	mg/h	Nbre de cigarettes/sem,	Nbre par semaine	Foyer/poêle à bois	Heures par semaine
1	444	83	4,42	175		Foyer	21
2	306	76	7,21	112		sans objet	0
3	486	27	1,44	0	4	Foyer	3
4	505	20	1,41	0		Foyer + poêle	35
5	515	38	1,96	0		Foyer	0
6	517	74	3,83	129		Foyer	0
7	487	23	1,12	3		Foyer	10
8	737	35	3,35	0	5	Foyer	20
9	478	19	1,91	0	23	sans objet	0
10	371	17	0,50	4		sans objet	0
11	513	60	7,39	150		sans objet	0
12	412	25	2,06	0		poêle	0
13	504	26	7,60	0		poêle	144
14	548	74	6,08	74		Foyer	65
15	429	26	2,12	0		sans objet	0
16	478	18	1,72	0		Foyer	15
17	387	19	2,72	0		Foyer	48
18	397	35	5,28	10		Foyer	168
19	325	26	1,18	0		sans objet	0
20	519	11	1,26	0		Foyer	0
21	270	11	0,59	225		sans objet	0
22	426	21	2,95	93		sans objet	0
23	441	43	3,41	110		Foyer	0
24	221	26	2,18	151		sans objet	0
25	748	10	2,09	0		Foyer	0
26	444			72		sans objet	0
27	231	42	3,69	175		sans objet	0
28	456	22	5,02	4		sans objet	0
29	418	33	2,34	140		Foyer	0
30	455	92	6,35	220		sans objet	0

2.2.2 Composés organiques volatils

Molhave² nota qu'il n'y a habituellement pas de problème d'irritation lorsque les niveaux de COVT sont inférieurs à 0,2 mg/m³. Des plaintes se manifestent dans tous les bâtiments où les occupants ont des symptômes, au fur et à mesure que les niveaux remontent vers la valeur du 3 mg au m³. Au Canada, il n'y a pas de niveau spécifiquement recommandé comme concentration maximum de COV. Le tableau 2.1.A présente les concentrations observées de COV dans les trente maisons. Le niveau moyen de l'ensemble des COV dans les 30 maisons

²Molhave, L. "Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health", *Indoor Air* 1(4): 357-76, 1991

correspondait à 0,63 mg/m³. Le tableau 2.2.2.A présente le taux d'émission des polluants des COVT calculés pour chacune des maisons à l'essai. La gamme des niveaux de COVT se trouvait entre 0,2 et 2,5 mg/m³. Les maisons no 8 et no 10 sont dotées de garages attenants et la maison no 10 est séparée de son garage par une porte. Seule la maison no 8 présente un niveau de COVT élevé. La cause peut être attribuée à l'extraction des fumées du garage à la maison. Les voitures dotées de carburateurs dégagent vraisemblablement plus de vapeurs de gazoline que les automobiles à injecteur de carburant, mais l'on ne s'est pas penché davantage sur cette question.

Le tableau 2.2.2.A donne une vue sommaire des niveaux mesurés de COVT et des taux d'émissions des polluants et fournit des données sur les quantités de peinture et de solvant entreposés dans les maisons. Il ne semble y avoir aucune corrélation apparente.

Tableau 2.2.2.A Composés organiques volatils totaux

Maison n ^o	Volume	COV	COV	Solvants	Garage
Unités :	m ³	mg/m ³	mg/h	Nbre de récipients	attendant
1	444	0,4	21	10	non
2	306	0,4	38	4	non
3	486	0,7	37	8	non
4*	505	1,7	120	?	non
5	515	0,7	36	20	non
6	517	0,3	16	?	non
7	487	0,4	19	8	non
8	737	2,3	220	10	yes
9	478	0,3	30	0	non
10	371	0,3	9	0	oui(porte)
11	513	0,7	86	3	non
12	412	0,1	7	4	non
13	504	0,2	58	50	non
14	548	0,2	16	?	non
15	429	0,5	41	0	non
16	478	0,5	48	10	non
17	387	0,6	86	7	non
18	397	0,4	60	6	non
19	325	0,7	32	4	non
20	519	0,7	80	10	non
21	270	0,7	38	0	non
22	426	0,4	56	0	non
23	441	2,5	198	8	non
24	221	0,7	59	2	non
25	748	0,3	63	10	non
26	444	0,4	39	5	non
27	231	0,3	26	0	non
28	456	0,2	46	8	non
29	418	0,3	21	0	non
30	455	1,0	68	4	non

*L'on se sert d'époxy dans l'atelier au sous-sol.

2.2.3 Formaldéhyde

Les principales sources de formaldéhyde dans les maisons correspondent à la fumée de cigarettes et aux liants dans les tapis, les meubles et certains matériaux de construction comme les panneaux de particules et le contre-plaqué. Le niveau moyen de formaldéhyde dans les maisons d'échantillonnage correspondait à 0,048 ppm.

Tableau 2.2.3.A Niveaux de formaldéhyde

Maison n ^o	Volume	Niveau de formaldéhyde,	Taux d'émission des polluants formaldéhyde,	Partie recouverte de tapis	Nombre de cigarettes/semaine
Unités :	m ³	en ppm	en mg/h		
1	444	0,054	3,54	0,25	175
2	306	0,046	5,37	0,15	112
3	486	0,094	6,18	0,8	0
4	505	0,099	8,61	0	0
5	515	0,082	5,19	0,25	0
6	517	0,083	5,28	0,33	129
7	487	0,056	3,35	0,33	3
8	737	0,042	4,95	0	0
9	478	0,037	4,57	0,6	0
10	371	0,07	2,56	0,75	4
11	513	0,071	10,75	0,8	150
12	412	0,035	3,55	0	0
13	504	0,021	7,55	0,05	0
14	548	0,054	5,46	0,3	74
15	429	0,043	4,31	0,1	0
16	478	0,049	5,76	0,1	0
17	387	0,043	7,57	0,32	0
18	397	0,033	6,12	0,1	10
19	325	0,034	1,90	0,1	0
20	519	0,014	1,97	0,05	0
21	270	0,066	4,38	0	225
22	426	0,046	7,95	0,4	93
23	441	0,024	2,34	0,6	110
24	221	0,032	3,31	0,05	151
25	748	0,021	5,41	0,9	0
26	444	0,03	3,60	0,25	72
27	231	0,038	4,10	0	175
28	456	0,025	7,01	0,05	4
29	418	0,045	3,93	0	140
30	455	0,051	4,28	0	220

Les taux d'émission des polluants se trouvaient entre 1,9 et 10,75 mg/h. Le tableau 2.2.3.A présente une vue sommaire des concentrations de formaldéhyde et des taux d'émission des polluants, de même que le pourcentage des planchers qui sont recouverts de tapis et les habitudes de tabagisme dans chaque maison. Il ne semble y avoir aucun rapport apparent entre les niveaux de formaldéhyde enregistrés et les autres facteurs. La quantité de tapis dans une

maison ne semble pas être un facteur important dans l'établissement du taux d'émission des polluants du formaldéhyde. Le type et l'âge du tapis, l'âge du bâtiment et la présence d'autres matériaux pourraient s'avérer des facteurs plus importants.

2.2.4 Radon

Les niveaux de radon enregistrés dans les trente maisons étaient bien inférieurs au niveau d'intervention établi par le gouvernement canadien à 800 Bq/m³, ce qui correspond à 21,6 pCi/L. La concentration de radon se rangeait entre 0,2 et 4,4 pCi/L. Le niveau moyen de radon pour l'ensemble des maisons correspondait à 0,79 pCi/L. Se reporter au tableau 2.1.A.

Le taux d'émission des polluants du radon se rangeait entre 11 et 313 Ci/h, avec une moyenne établie à 67,1 Ci/h.

2.2.5 Bioxyde de carbone

Puisque la principale source de CO₂ correspond à l'air expiré par les occupants et que ce gaz se propage presque partout à la grandeur de la maison, il a été convenu de placer l'enregistreur dans le salon afin de déterminer le niveau moyen de CO₂ au cours de la semaine d'essai. En vertu des essais à long terme du sous-groupe de huit maisons, l'on a aussi enregistré en même temps et de façon continue le niveau de bioxyde de carbone dans la chambre principale de chacune de ces huit dernières maisons. La comparaison des enregistrements obtenus de la chambre principale, du salon et du sous-sol a indiqué que le niveau de CO₂ dans le salon est représentatif du niveau auquel les occupants sont exposés dans la plupart des maisons. L'exception importante provient des maisons où la porte de chambre est fermée pour dormir. La différence dans les niveaux de CO₂ entre le salon et la chambre principale (alors que la porte entre les zones était ouverte) était ordinairement la même, avec un décalage de 200 à 300 ppm près, le niveau étant plus élevé dans la zone où les occupants se trouvaient. Une fois la porte de chambre fermée, les niveaux de CO₂ pouvaient atteindre un niveau supérieur de plus de 3 000 ppm tôt le matin soit avant d'ouvrir la porte de chambre.

Le niveau quotidien et moyen de CO₂ enregistré dans les salons des maisons au cours de la semaine d'essai se trouvait entre 570 et 1 507 ppm, avec une moyenne de 929 ppm pour le groupe. Voir le tableau 2.1.A. La taux d'émission des polluants de CO₂ dans les 30 maisons se chiffrait entre 25 et 220 g/h, avec une moyenne de 102 g/h. Voir le tableau 2.2.A.

2.2.6 Vapeur d'eau

Le taux d'émission équivalente à la source de production d'humidité a fait l'objet d'une évaluation pour les premières huit maisons, en calculant premièrement l'augmentation dans la concentration d'humidité, qui s'obtient en enregistrant l'humidité relative et la température à l'intérieur et à l'extérieur et en soustrayant la concentration d'humidité extérieure de la concentration d'humidité dans l'air intérieur. L'on s'est alors servi du volume des maisons et des taux moyens de renouvellement d'air pour calculer les les taux d'émission des polluants, selon les descriptions pertinentes de la section 2.2. La concentration d'humidité exprimée en g d'humidité par kg d'air sec a été transformée en g/m³ en la multipliant par 1,293, ce qui correspond à la densité de l'air sec. Les valeurs se rangeaient entre 259 et 342 g/h, avec une moyenne de 330 g/h. L'on s'attend à ce que l'évaluation de le taux d'émission des polluants produise des résultats différents de l'automne au printemps par suite du mouvement de l'humidité qui se dégage des matériaux de construction en automne et qui s'infiltré dans les matériaux au printemps. Prière de se reporter au tableau 2.2.A.

Le processus de séchage est lent puisqu'il s'agit d'une diffusion dans des matières solides et sa constante de temps se calcule en jours. Nous nous attendons à ce que les résultats des essais d'une semaine au début de l'hiver présentent une légère déviation vers un taux de production d'humidité plus élevé du fait que la maison est assujettie à son processus de séchage après la saison de l'été, ce qui entraîne un dégagement dans l'air d'une certaine quantité d'humidité à l'état entreposé. La capacité d'absorption et de relâche de l'humidité dans l'air du contenu de la maison et de ses matériaux de construction tendent à diminuer et décaler les changements dans la concentration d'humidité dans l'air intérieur. Les matériaux de construction comme le bois, le gypse et le béton absorbent la vapeur d'eau contenue dans l'air au cours de périodes humides et dégagent de l'humidité dans l'air au cours de périodes sèches.

Le tableau 2.2.6.A présente une vue sommaire des facteurs qui peuvent affecter le niveau d'humidité dans les maisons, y compris le taux d'occupation, l'équipement de ventilation et son fonctionnement et les fuites d'air. À remarquer que certaines sources potentielles d'humidité (sous-sols humides et séchage du bois de chauffage à l'intérieur, p. ex.) n'ont fait l'objet d'aucun enregistrement et qu'elles ne font pas partie de cette analyse. Les deux dernières colonnes servent à donner un compte-rendu des problèmes d'humidité signalés par les clients lors du sondage effectué au cours du projet Éval-Iso et encore plus tard, à l'automne de 1993. Les corrélations entre ces variables ne sont pas directes ni évidentes.

Tableau 2.2.6.A Facteurs qui peuvent affecter les niveaux d'humidité dans les maisons

Maison n°	Volume	Taux d'occupation	Ventilation mécanique	Ventilation naturelle, source d'ouverture	Durée	Ra nat., à l'heure	RA/h, à 50 Pa	Humidité au milieu de l'hiver **	Humidité au printemps **
Unités	m ³	Min-h/jour		cm ²	H/ semaine				
1	444	102	turbine	0	0	0,12	3,66	0	0
2	306	89	turbine	0	0	0,31	4,69	2	0
3	486	39	0	porte	0	0,11	3,04	1	3
4	505	83	0	0	0	0,14	2,81	0	?
5	515	77	0	0	0	0,10	2,28	2	3
6	517	69	0	54/30	168/72	0,10	3,27	2	2,3
7	487	55	0	0	0	0,10	3,44	0	0
8	737	83	†	335	1	0,13	2,52	1-2	1
9	478	82	turbine	0	0	0,21	5,08	3	1
10	371	69	†	0	0	0,08	4,24	3	1
11	513	74	turbine	0	0	0,24	5,50	0	0
12	412	63	0	0	0	0,20	2,86	0	0
13	504	121	0	0	0	0,58	6,81	0	0
14	548	69	†	0	0	0,15	2,44	2	0
15	429	40	0	0	0	0,19	4,13	1	2
16	478	96	turbine	0	0	0,20	2,46	0	0
17	387	125	0	0	0	0,37	7,14	2	2*
18	397	32	0	0	0	0,38	8,30	0	0
19	325	39	†	0	0	0,14	3,17	0	3
20	519	101	0	0	0	0,22	9,96	0	1
21	270	39	0	0	0	0,20	10,1	0	0
22	426	90	†	0	0	0,33	3,32	0	0
23	441	80	0	0	0	0,18	4,18	0	0
24	221	69	0	0	0	0,38	8,55	0	0
25	748	69	0	0	0	0,28	5,63	0	0
26	444	24	0	1125/1500	0,5/0,75	0,22	3,49	0	0
27	231	74	0	0	0	0,38	11,4	0	0
28	456	90	0	300	0,5	0,50	3,45	0	0
29	418	59	0	0	0	0,17	3,65	3	3
30	455	99	0	0	0	0,15	1,72	0	0

Système de ventilation intégré avec alimentation d'air frais et extraction d'air vicié

* En été seulement

** Conditions d'humidité :

- 0 = Sans objet
- 1 = Humidité élevée, avec condensation aux fenêtres
- 2 = Condensation sur les murs
- 3 = Formation de moisissure

2.2.7 Comparaison avec les données de l'Ontario

Les mesures simultanées du calcul des niveaux de contaminant dans l'air intérieur et des taux moyens de renouvellement d'air dans 62 maisons en Ontario³ ont permis de dériver le taux d'émission du formaldéhyde, du radon, des PRS et des COVT. L'annexe 2 présente les données utilisées ainsi que les taux d'émission résultantes et calculées. Le tableau 2.2.7.A ci-après résume les résultats obtenus pour les concentrations moyennes et les taux d'émission calculés pour les provinces de l'Ontario et du Québec.

Tableau 2.2.7.A Résumé des résultats obtenus pour les taux d'émission des polluants et les concentrations moyennes de contaminants dans l'air pour l'Ontario et le Québec

Contaminant	Concentration moyenne et taux d'émission des polluants (unités)	Maisons du Québec	Gamme	Maisons de l'Ontario	Gamme
Formaldéhyde	(ppm)	0,048		0,036	
	(mg/h)	5,03	1-10	10,2	2-33
Radon	(pCi/L)	0,79		1,2	
	(Ci/h)	67,1	10-300	285	10-1300
PRS	(g/m ³)	36		25,2	
	(mg/h)	3,07	0,5-7	6,7	1-20
COVT	(mg/m ³)	0,63		2,05	
	(mg/h)	55,9	5-200	352	60-500
CO2	(g/h)	102			
Humidité	(g/h)	330			

Il faut tenir compte du fait que le niveau de pollution intérieur est en partie déterminé par le taux d'émission du contaminant et par le taux d'infiltration moyen. Le volume du bâtiment joue également un rôle dans le niveau de contaminant lorsque les sources de contaminants sont intermittentes, comme celles des PRS, du CO₂ et de la production de COV. La comparaison des taux d'émission entre les maisons du Québec et de l'Ontario nous présente seulement une partie de la réalité en ce qui concerne les niveaux relatifs de la qualité de l'air intérieur dans les maisons de ces deux provinces. Il faut aussi comparer le taux de ventilation moyen et les volumes des maisons afin de pouvoir comparer les niveaux moyens de qualité de l'air intérieur. Il est intéressant de souligner que bien que le taux d'émission moyenne du formaldéhyde et des PRS est deux fois plus élevée en Ontario qu'au Québec, les niveaux moyens de ces matières polluantes sont quelque peu plus élevés dans les maisons québécoises. Ces résultats peuvent dépendre de conditions climatiques différentes au moment des essais, de volumes de maisons différentes et de caractéristiques de fuites d'air différentes entre les deux groupes de maisons.

2.3 Taux de renouvellement d'air minimal

Les évaluations du taux d'émission peuvent également servir à déterminer la ventilation minimale requise afin de maintenir les niveaux de contaminants d'air en deçà des niveaux maximaux recommandés dans toutes les maisons. Le niveau d'aérocontaminant du taux d'émission des polluants S est calculé ainsi :

³Indoor Environment Study, Ontario Hydro Report No. PTA-9092, Oct. 1990

niveau d'aéropolluant = $S \text{ (mg/h)} / \text{taux de renouvellement d'air moyen (m}^3\text{/h)}$
(réponse en mg/m^3)

En utilisant la formule ci-dessus, il est possible de calculer le taux de renouvellement d'air requis pour chaque taux d'émission afin de maintenir des niveaux inférieurs à ceux recommandés par Santé Canada. En tenant compte des taux d'émission les plus élevées mesurées dans les trente maisons québécoises,

le taux de renouvellement d'air (minimal) requis = le taux d'émission des polluants la plus élevée mesurée / directive de Santé Canada

Puisque le taux d'émission est calculée en mg/h et que les directives sont données en mg/m^3 , la réponse est en $\text{m}^3\text{/h}$.

Pour chaque polluant étudié et chaque maison, l'air frais minimal requis pour répondre aux exigences de Santé Canada a été calculé en utilisant la méthode ci-dessus, et les résultats figurent au tableau 2.3.A.

Tableau 2.3.A L'air frais minimal requis pour répondre aux exigences de Santé Canada

Maison no	PRS	COV	Formaldé- hyde	Radon	CO ₂ *	CO ₂ **	Polluant limitatif
unité	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	
1	31	1,9	17	0,0	2,8	13	PRS
2	50	3,3	25	0,5	5,2	26	PRS
3	10	3,3	29	0,5	2,8	14	Formald,
4	10	11	40	0,5	4,7	23	Formald,
5	14	3,3	24	0,9	4,2	21	Formald,
6	26	1,4	25	0,5	2,8	13	PRS
7	7,6	1,9	16	0,5	1,4	7,6	Formald,
8	23	20	23	0,9	4,7	23	RSP/Form,
9	13	2,8	21	0,5	4,7	24	CO ₂ **
10	3,3	0,9	12	0,5	0,9	5,7	Formald,
11	51	8,0	50	0,5	4,7	23	PRS
12	14	0,5	17	0,5	6,6	32	CO ₂ **
13	53	5,2	35	2,4	6,1	30	PRS
14	42	1,4	26	0,5	4,2	20	PRS
15	15	3,8	20	0,0	2,4	11	Formald,
16	12	4,2	26	0,5	7,6	36	CO ₂ **
17	19	8,0	35	0,5	3,8	19	Formald,
18	37	5,7	29	0,9	6,1	30	PRS
19	8,0	2,8	9,0	0,9	4,7	22	CO ₂ **
20	8,5	7,6	9,0	0,9	5,2	26	CO ₂ **
21	4,2	3,3	20	0,5	1,9	9,9	Formald,
22	20	5,2	37	1,9	9,0	43	CO ₂ **
23	24	18	11	1,4	2,8	14	PRS
24	15	5,7	15	0,5	4,7	22	CO ₂ **
25	15	5,7	25	0,9	4,2	19	Formald,
26		3,8	17	0,9	1,9	9,4	Formald,
27	26	2,4	19	0,9	4,2	20	PRS
28	35	4,2	33	0,5	9,9	47	CO ₂ **
29	16	1,9	19	4,2	4,2	21	CO ₂ **
30	43	6,1	20	3,3	6,6	33	PRS
Moyenne	22	5,2	23	0,9	4,5	22	
Écart-type	14,6	4,5	9,5	1,0	2,1	10	

* En supposant que la directive de Santé Canada soit de 3 500 ppm

** En supposant que le niveau recommandé par l'ASHRAE actuellement soit de 1 000 ppm

Selon les indications du tableau ci-dessus, les niveaux de PRS, de formaldéhyde et de bioxyde de carbone sont les facteurs déterminants pour établir la ventilation requise dans les maisons du Québec. En général, l'un de ces polluants est prédominant et détermine la ventilation minimale requise.

Il est intéressant de noter que chacun de ces trois polluants (y compris le CO₂ à un niveau maximal de 1 000 ppm) a été le facteur déterminant dans environ un tiers des maisons. La

ventilation minimale moyenne est de 30,5 L/s, l'écart-type de 11,3 L/s (coefficient de confiance de 95 %) et l'erreur-type de 2,1.

Dans le cas de maisons ayant les taux d'émission des polluants les plus élevées de l'échantillon, la ventilation minimale requise est indiquée dans le tableau 2.3.B. suivant.

Tableau 2.3.B Exigences en matière d'air frais pour le contrôle des polluants dans les maisons ayant les taux d'émission des polluants les plus élevées au Québec

Polluant	Taux d'émission des polluants le plus élevé	Niveau admissible	Air frais (ou sec) requis
CO ₂	220 g/h	(a) Santé Canada : 3 500 ppm ou 6,9 g/m ³ (b) ASHRAE: 1 000 ppm ou 2,0 g/m ³	(a) 9,9 x 1,1* = 10,9 L/s (b) 47,2 x 1,53** = 72,2 L/s
PRS	7,6 mg/h	40 g/m ³	52,9 L/s
Formaldéhyde	10,750 g/h	60 g/m ³	49,6 L/s
COV	220 mg/h	3 mg/m ³ (limite avant les plaintes)	20,3 L/s
Humidité	488 g/h	HR 55 % (11,6 g/m ³)	11,7 L/s (en supposant qu'il s'agit d'air sec)
Radon	313 000 pCi/h	20 000 pCi/m ³	4,2 L/s

* augmenté de 10 p. 100 pour tenir compte du gaz carbonique atmosphérique

** augmenté de 53 p. 100 pour tenir compte du gaz carbonique atmosphérique

Les exigences en matière de ventilation pour les maisons ayant le taux d'émission le plus élevé de bioxyde de carbone ont été calculées pour deux niveaux cibles, soit 3 500 ppm (directive de Santé Canada) et 1 000 ppm (paramètre de confort de l'ASHRAE). Puisque l'air extérieur renferme environ 350 ppm de bioxyde de carbone, le taux de ventilation doit être augmenté en conséquence pour répartir le bioxyde de carbone se trouvant dans la maison. Le tableau tient compte de ces facteurs. La ventilation requise pour maintenir un niveau moyen de 3 500 ppm de CO₂ est de 10,9 L/s, ce qui est inférieur à la ventilation nécessaire pour contrôler les autres polluants. Afin de maintenir un niveau moyen de 1 000 ppm de CO₂, il faut environ sept fois plus de ventilation, soit 72,2 L/s.

La ventilation requise dans la maison ayant le taux d'émission des polluants le plus élevé de PRS a été de 52,9 L/s. Comme nous pouvons le constater dans le tableau ci-dessus, le contrôle des PRS est le facteur qui détermine la ventilation minimale requise dans environ un tiers des maisons. Les résultats ne sont pas surprenants puisque les deux sources principales de particules (fumée de cigarettes et foyers ou poêles à bois) sont présentes dans un bon nombre de maisons.

La ventilation requise dans la maison ayant le taux d'émission le plus élevé de formaldéhyde a été de 49,6 L/s. La principale source de formaldéhyde provient des tapis, du contre-plaqué et des autres matériaux de construction. La fumée de cigarette contient également une petite quantité de formaldéhyde. La quantité de gaz qui s'échappe dépend de l'humidité et de la température, du niveau ambiant de formaldéhyde et de la quantité de formaldéhyde toujours présente dans le matériau et qui se propage graduellement sur une longue période.

Les maisons ayant les taux d'émission les plus élevés de COV, d'humidité et de radon exigent une ventilation de 20 L/s ou moins pour que la qualité de l'air soit conforme aux directives.

Puisque les travaux de rénovation nécessitent l'utilisation de matériaux de construction et de finition neufs, y compris du tapis neuf (qui dégagent la plupart du temps du formaldéhyde et des COV), la ventilation requise après les travaux de rénovation ou d'étanchéisation devra être adéquate pour contrôler les nouvelles sources ainsi que les anciennes.

Le contrôle de l'humidité par la ventilation au moyen d'air extérieur exige de l'air extérieur plus sec que l'air intérieur. En automne, l'effet de séchage produit par la ventilation est plus élevé lorsqu'il fait froid et que l'air extérieur renferme peu de vapeur d'eau. La quantité d'air frais requise pour enlever l'humidité à l'intérieur diminue lorsque la température refroidit et que la maison devient plus sèche. La ventilation de 11,7 L/s prévue au tableau 2.3.B est calculée avec de l'air extérieur sec. En réalité, l'air extérieur renferme un peu d'humidité et la ventilation requise doit être augmentée en conséquence. En plus, il peut y avoir beaucoup d'humidité accumulée dans le bâtiment au début de l'automne qui devra être enlevée par ventilation avant l'arrivée des grands froids.

Les niveaux de polluants dans les maisons individuelles sont déterminés par le niveau du taux d'émission des polluants et par le taux de ventilation réel. Les ouvertures de fenêtre, le fonctionnement de ventilateurs d'extraction et du poêle à bois et l'utilisation d'une turbine de ventilation peuvent aussi affecter, dans une certaine mesure, le taux de ventilation d'une maison. Le tableau 2.3.C présente une vue sommaire de la ventilation mesurée (ventilation moyenne durant une semaine enregistrée au cours des essais au traceur PFT, commençant à la date indiquée) et la ventilation requise conformément aux directives de Santé Canada et aux recommandations sur le niveau de CO₂ de l'ASHRAE.

Comme nous l'indique le tableau, le premier groupe de dix maisons a été mis à l'essai au cours du mois de décembre au moment où la température était assez clémente, et les autres maisons ont été mises à l'essai durant les températures beaucoup plus froides de janvier et février. Dans le premier groupe mis à l'essai, 80 p. 100 des maisons n'offraient pas une ventilation naturelle suffisante et les niveaux de polluants intérieurs dépassaient les niveaux recommandés. Les maisons n^{OS} 8 et 9 seulement ont présenté une ventilation adéquate au cours de la semaine d'essai.

Dans le deuxième groupe mis à l'essai au cours de la période plus froide, on note que la ventilation dans 55 p. 100 des maisons était inadéquate au cours de la semaine. Il faut remarquer que les maisons présentant une plus grande superficie de fuite (maison n^O 21 - RA/H₅₀=10,06 et maison n^O 27 - RA/H₅₀=11,35) n'avaient pas de ventilation adéquate au cours de la semaine d'essai, tandis que la ventilation dans les autres maisons ayant un taux de fuite moins élevé (RA/H₅₀=3,49) était adéquate.

Les résultats démontrent bien que la ventilation naturelle est plus élevée au cours de températures froides et moins élevées lorsque la température est plus clémente et que la ventilation requise pour maintenir une qualité d'air acceptable dépend du taux d'émission des polluants du polluant.

Tableau 2.3.C Comparaison entre la ventilation minimale requise et la ventilation réelle mesurée au cours des essais (une semaine)

Maison n ^o	Début de la semaine d'essai	Ventilation (moyenne d'une semaine)	Ventilation naturelle minimale requise L/s	bâtiment (RA/H,50Pa)	Fuite du Polluant limitatif*
1	9 déc.	14,6	30,7	3,66	PRS
2	9 déc	26,4	50,0	4,69	PRS
3	1 déc	14,6	28,8	3,04	Formald.
4	30 nov.	19,8	39,6	2,81	Formald.
5	1 déc.	14,6	24,1	2,28	Formald.
6	8 déc	14,6	26,4	3,27	PRS
7	7 déc.	13,7	15,6	3,44	Formald.
8	2 déc.	26,9	23,1	2,52	
9	14 déc.	27,8	23,6	5,08	
10	15 déc	8,5	11,8	4,24	Formald.
11	10 janv.	34,0	51,4	5,50	PRS
12	11 janv.	22,7	32,1	2,86	CO2 **
13	12 janv	81,2	52,9	6,81	
14	13 janv	22,7	42,0	2,44	PRS
15	17 janv.	22,7	19,8	4,13	
16	18 janv	26,9	35,9	2,46	CO2 **
17	19 janv.	39,6	34,9	7,14	
18	20 janv	42,0	36,8	8,30	
19	24 janv	12,7	22,2	3,17	CO2 **
20	25 janv.	31,6	26,0	9,96	
21	26 janv	15,1	20,3	10,06	Formald.
22	27 janv	39,2	42,9	3,32	CO2 **
23	31 janv	21,7	23,6	4,18	PRS
24	1 févr.	23,1	22,2	8,55	
25	2 févr	58,0	25,0	5,63	
26	3 févr.	27,4	16,5	3,49	
27	7 févr.	24,5	25,5	11,35	PRS
28	8 févr	63,2	47,2	3,45	
29	9 févr	19,8	20,8	3,65	CO2 **
30	10 févr.	18,9	43,4	1,72	PRS

* Polluant limitatif selon les directives de Santé Canada

** En supposant que le niveau de CO₂

recommandé par l'ASHRAE est de 1 000 ppm

2.4 Résultats des essais de longue durée sur la qualité de l'air dans 8 maisons

2.4.1 Dynamique du bioxyde de carbone entre les zones

Les contaminants de l'air produits par les occupants, comme le bioxyde de carbone, ont tendance à s'étendre à d'autres parties du bâtiment par le phénomène de diffusion, les mouvements naturels de l'air entre les zones ou par des moyens mécaniques tels les systèmes de distribution d'air et les ventilateurs. Dans plusieurs maisons, on a noté la différence dans le niveau de bioxyde de carbone, aux endroits indiqués, dans différentes parties du bâtiment, au même moment :

1. Enregistrement simultané des niveaux de CO₂ à différentes hauteurs dans une chambre à coucher occupée
2. Enregistrement simultané du CO₂ dans le salon et une chambre à coucher occupée d'une maison, lorsque la porte de la chambre est fermée et lorsqu'elle est ouverte.
3. Enregistrement simultané du CO₂ dans le sous-sol et au rez-de-chaussée dans une maison occupée.

Stratification à l'intérieur d'une pièce

Les résultats indiquent qu'il y a une petite différence dans les niveaux de CO₂ entre le plancher et le plafond lorsque la pièce est occupée, le niveau près du plafond étant plus élevé d'environ 200 ppm lorsque la pièce était occupée. Les niveaux à la hauteur de la table étaient presque identiques à ceux près du plafond. Les niveaux de CO₂ étaient considérablement plus élevés lorsque la pièce était occupée et que la porte était fermée mais la différence aux trois hauteurs est restée environ la même. (Maison n° 4, 21-29 nov. 1993). Veuillez consulter la figure 2.4.1.A. Une fois que les occupants quittent les lieux, la stratification disparaît dans environ 20 minutes.

Différence dans les niveaux de CO₂ entre les pièces d'un même étage

Les enregistrements simultanés des niveaux de CO₂ dans le salon et la chambre principale de la maison n° 3 (sur le même étage) lorsque la porte est ouverte démontrent une différence de seulement 300 à 400 ppm au moment où les personnes dorment. Autrement, lorsque les occupants bougent à l'intérieur de la maison ou qu'ils ne sont pas dans la maison, la différence se situe entre 50 et 100 ppm environ (maison no 3, 4-8 déc. 1993). Veuillez consulter la figure 2.4.1.B. Dans la maison no 6, la différence dans les niveaux de CO₂ enregistrés simultanément dans la chambre à coucher et le salon varie de 200 à 300 ppm seulement durant la nuit. Le reste du temps, les niveaux se situent à l'intérieur de la gamme de 100 à 150 ppm (15 au 20 nov. 1993). Veuillez consulter la figure 2.4.1.C.

Dans la maison n° 5, où la porte de la chambre à coucher est normalement fermée la nuit, la différence dans les niveaux de CO₂ entre la chambre à coucher et le salon augmente constamment au cours de la nuit pour atteindre environ 3 600 ppm, jusqu'à l'ouverture de la porte le matin. Une fois la porte ouverte, il faut environ 30 minutes pour que les niveaux de CO₂ dans la chambre à coucher et le salon s'équilibrent. Au cours de la journée, lorsque les occupants bougent dans la maison ou qu'ils ne sont pas dans la maison, les niveaux dans la chambre à coucher et le salon sont sensiblement les mêmes. Les différences dans les niveaux de CO₂ varient en fonction de la période durant laquelle la porte est demeurée fermée et selon la journée, possiblement en partie à cause des changements météorologiques. Veuillez consulter

Figure 2.4.1.A Stratification du CO2 dans la chambre à coucher principale, maison No 4

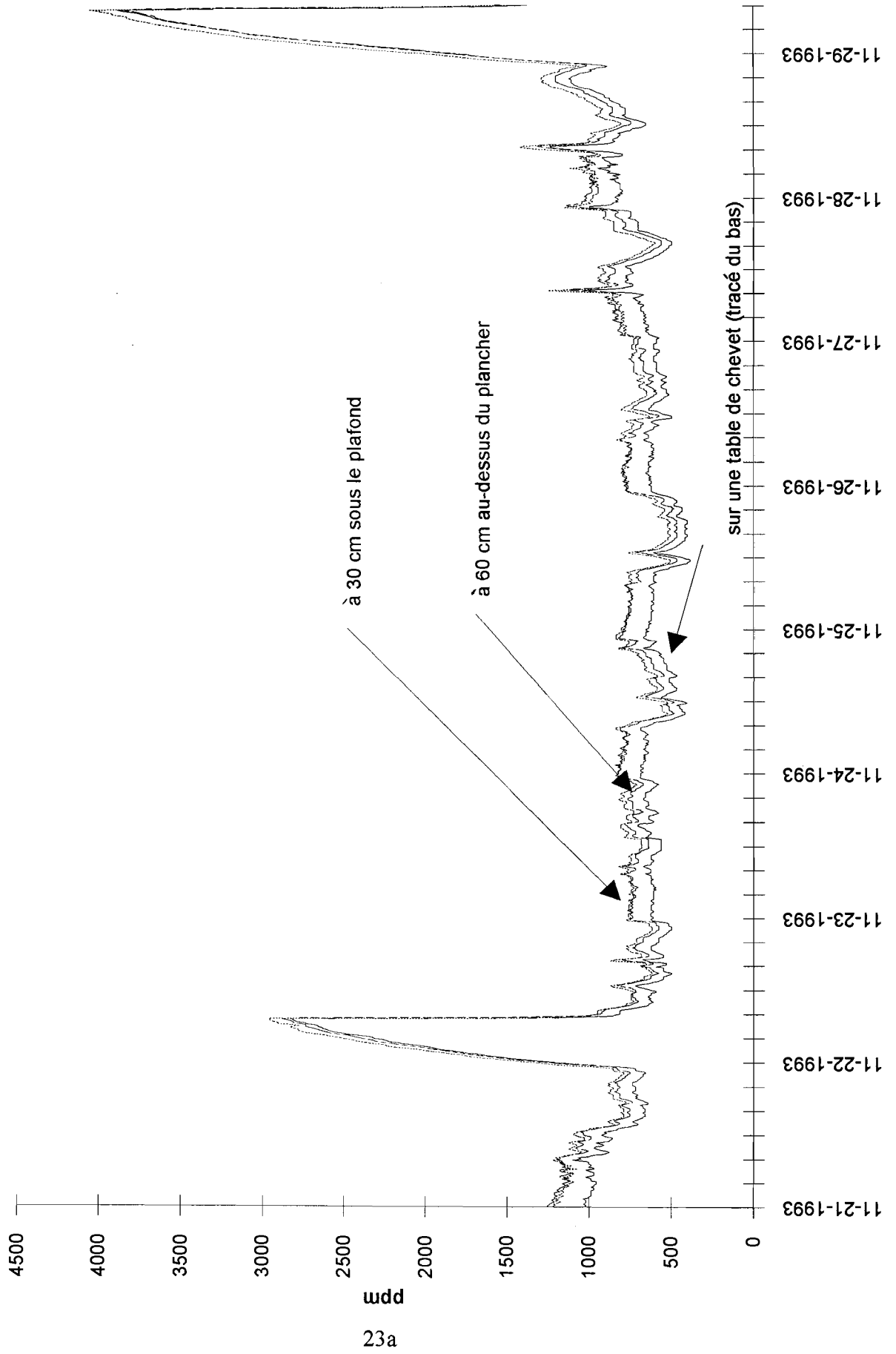


Figure 2.4.1.B Différence dans les niveaux de CO2 entre les pièces d'un même étage, maison No 6

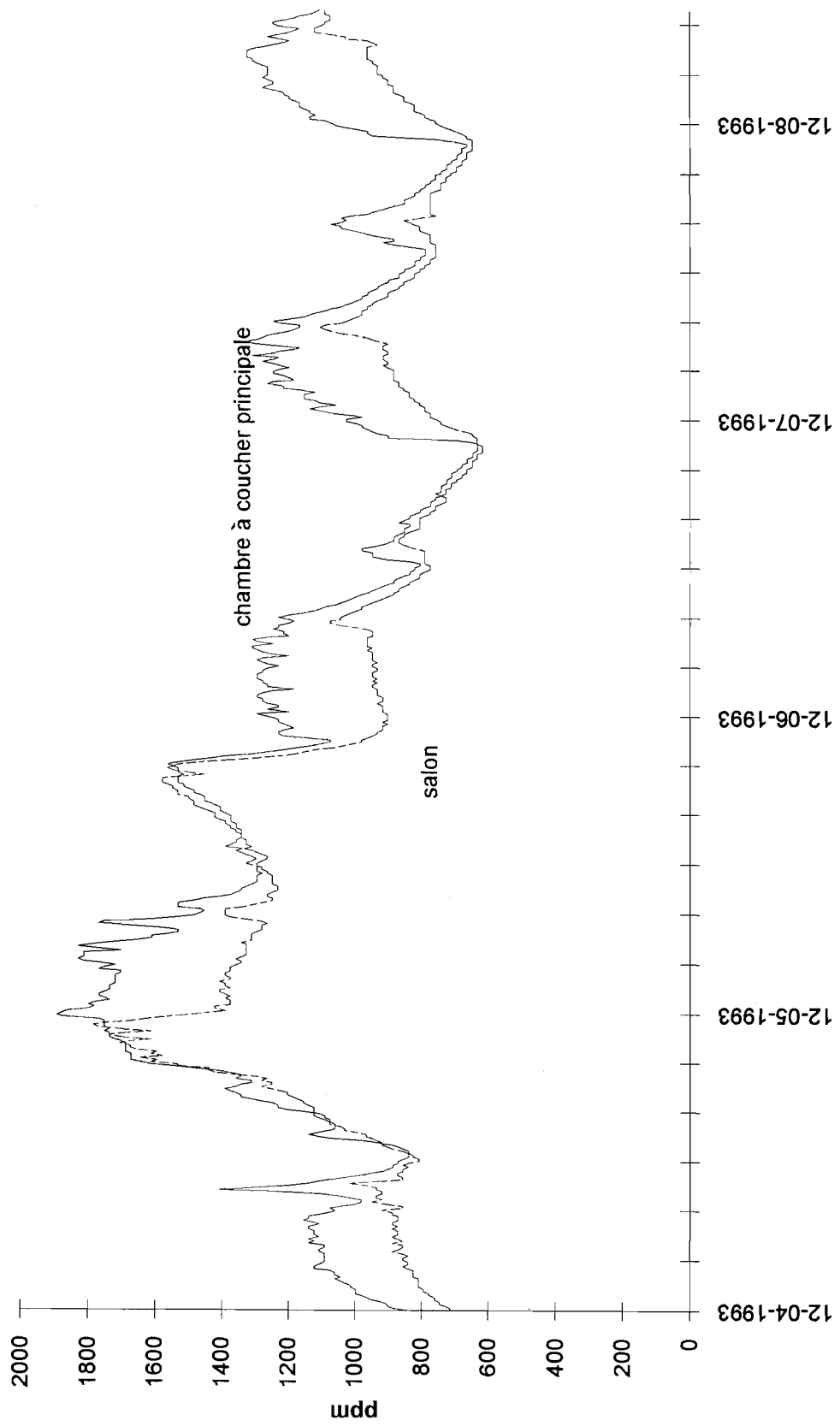
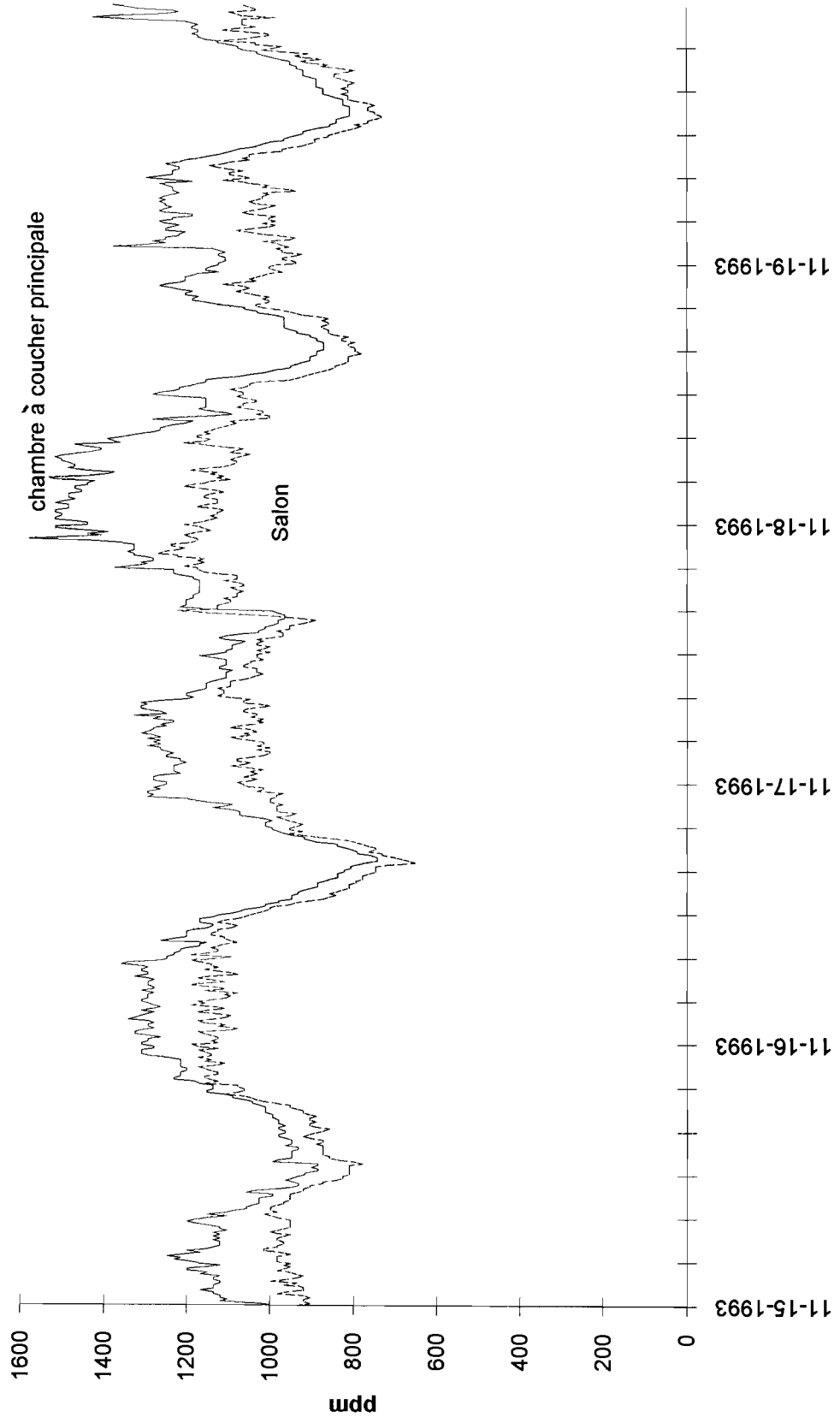


Figure 2.4.1.C Différence dans les niveaux de CO2 entre les pièces d'un même étage, maison No 6



la figure 2.4.1.D.

Différence dans les niveaux entre le sous-sol et le rez-de-chaussée

Dans les maisons dotées d'un nouveau système de ventilation, on a prélevé les niveaux de bioxyde de carbone dans la chambre principale, le salon et le sous-sol sur une période de plusieurs jours. Le niveau moyen de bioxyde de carbone à chaque jour a été calculé à partir des données enregistrées pendant 10 minutes et les résultats ont été présentés sous forme graphique.

Dans la maison n^o 4 où il y a deux ventilateurs au plafond du sous-sol pour mélanger l'air entre le sous-sol et le rez-de-chaussée, la différence de niveaux de bioxyde de carbone entre la chambre à coucher, le salon et le sous-sol était imperceptible lorsque les ventilateurs étaient en marche. Veuillez consulter la figure 2.4.1.E.

Dans la maison n^o 5, un nouveau système de mélange d'air et de ventilation a été relié par conduit à chaque chambre à coucher et au couloir. Dans cette maison, les occupants dorment habituellement avec la porte de la chambre fermée. Lorsque le système était en marche, on notait une petite différence d'environ 100 à 200 ppm dans les niveaux de CO₂ relevés dans la chambre à coucher, le salon et le sous-sol. Veuillez consulter la figure 2.4.1.F. Il n'y avait aucune différence lorsque la maison était inoccupée le 30 décembre. Lorsque le système de ventilation n'était pas en marche, le niveau moyen dans la chambre à coucher était supérieur d'environ 600 ppm à celui dans le salon. En réalité, la différence atteint plus de 2 000 ppm la nuit. La différence entre le sous-sol et le rez-de-chaussée demeurait toutefois environ la même, soit 100 ppm.

Dans la maison no 8 où un système d'extraction et d'alimentation en air frais équilibré est habituellement en marche, on a relevé les niveaux moyens de CO₂ dans le sous-sol, la chambre à coucher et le salon pendant une semaine lorsque le système ne fonctionnait pas et que la porte menant au sous-sol était en position fermée normale. Le niveau moyen de CO₂ dans le sous-sol était toujours inférieur à celui du rez-de-chaussée. Les niveaux de CO₂ relevés (moyenne quotidienne) dans la chambre à coucher, le salon et le sous-sol au cours d'une semaine sont donnés à la figure 2.4.1.G. La différence entre l'étage supérieur et le sous-sol varie entre 300 et 600 ppm tandis que la différence dans les niveaux entre la chambre à coucher et le salon était imperceptible.

Niveau le plus élevé de CO₂

Le niveau de CO₂ dans une pièce augmente graduellement à l'arrivée d'une personne. Le bioxyde de carbone est produit à un taux régulier et prévisible par le nombre d'occupants et n'est pas absorbé ni entreposé par les surfaces environnantes. Lorsque la porte de la pièce est fermée et qu'il n'y a aucune ventilation mécanique, le taux d'augmentation du niveau de CO₂ dépend des dimensions de la pièce ainsi que de la vitesse d'infiltration naturelle d'air extérieur (renfermant habituellement 350 ppm de CO₂). Le taux d'augmentation varie directement selon le taux d'émission des polluants et inversement selon le volume de la pièce et la ventilation au moyen d'air extérieur. Le niveau ultime de CO₂ dans une pièce occupée dépend de la période d'occupation de la pièce lorsque la porte est fermée et de la vitesse d'infiltration. Au cours de l'étude, on a remarqué que les niveaux de CO₂ ont été supérieurs durant les fins de semaine, lorsque les occupants dorment généralement plus longtemps et restent dans la maison pendant plus d'heures. Dans les maisons où il y a des adolescents ou des adultes, on a tendance à dormir avec la porte fermée alors que dans les maisons où il y a de jeunes enfants, on dort davantage avec la porte ouverte. Le niveau de CO₂ dans une chambre à coucher occupée dépend fortement du fait que la porte soit ouverte ou fermée.

Figure 2.4.1.1.D Différence dans les niveaux de CO2 entre les pièces d'un même étage, maison No 5

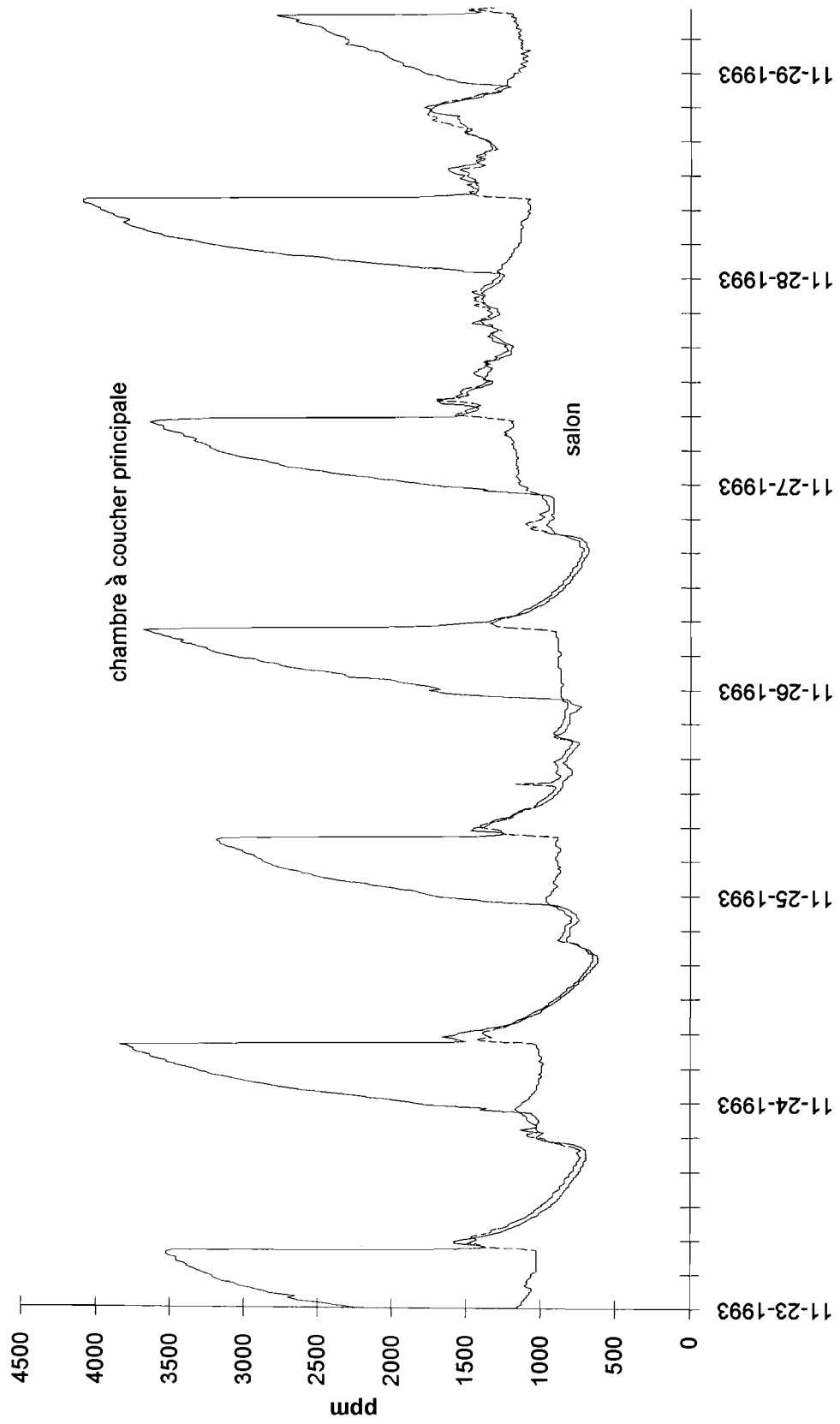


Figure 2.4.1.E Différence dans les niveaux de CO2 entre les pièces au rez-de-chaussée et le sous-sol (ventilateurs de mélange en marche), maison No 4

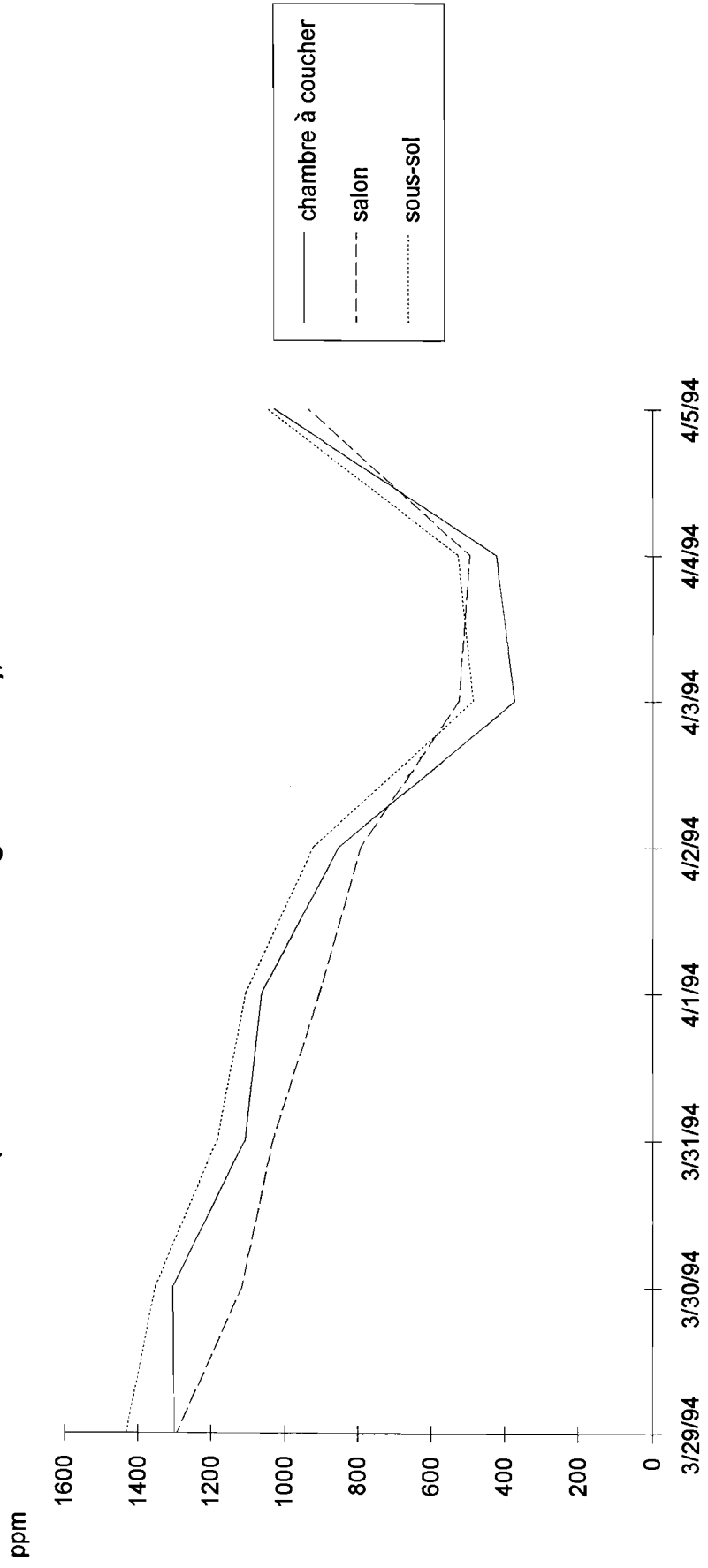
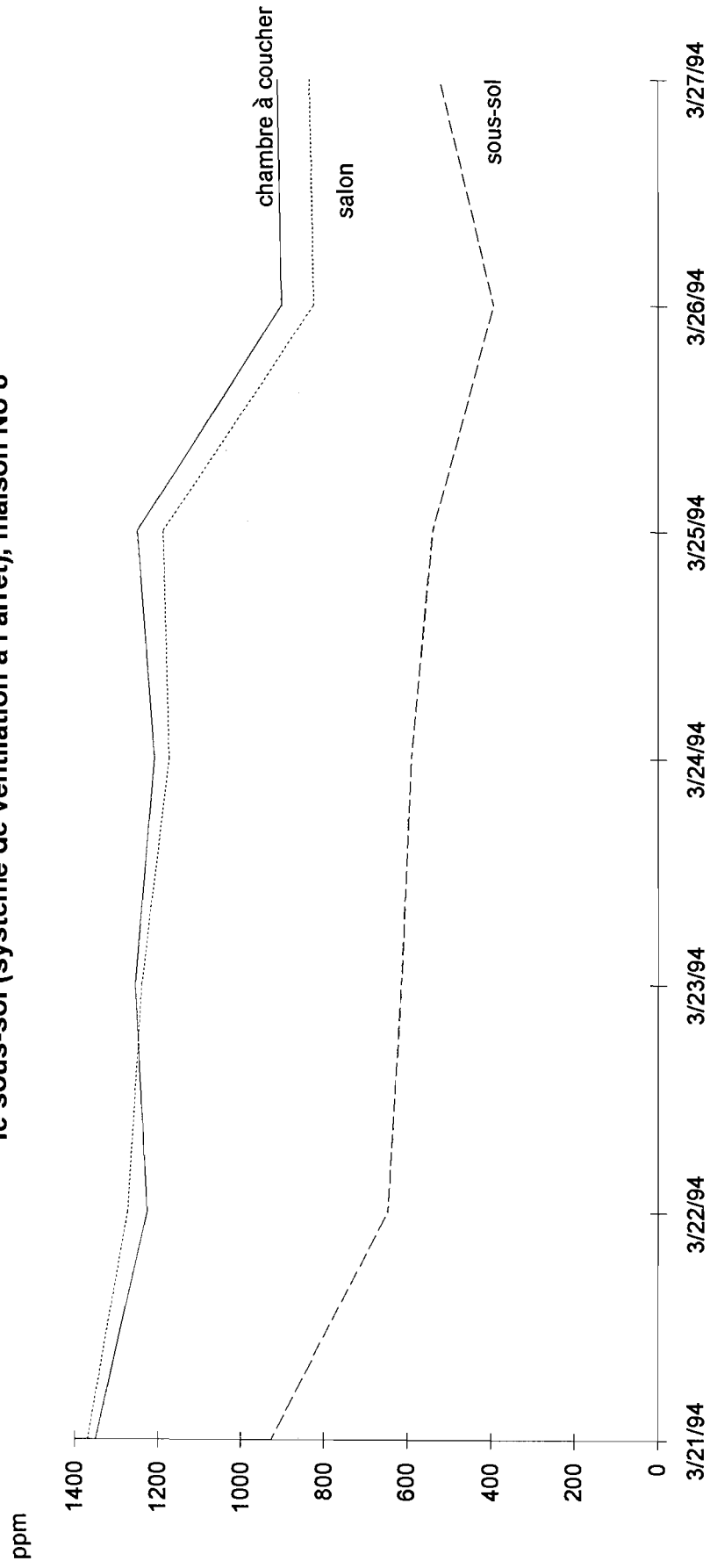


Figure 2.4.1.F Différences dans les niveaux de CO2 entre les pièces au rez-de-chaussée et le sous-sol (système de ventilation en marche et à l'arrêt), maison No 5



Figure 2.4.1.G Différence dans le niveaux de CO2 entre les pièces au rez de chaussée et le sous-sol (système de ventilation à l'arrêt), maison No 8



Le niveau le plus élevé de CO₂ enregistré dans une chambre principale au cours de l'hiver a été relevé dans la maison no 5 (4 671 ppm)⁴ le 4 décembre 1993. Les occupants dorment habituellement avec la porte de chambre fermée. Au cours de la même journée, le niveau minimal a été de 1 423 ppm (avec la porte ouverte) et la moyenne pour la journée était de 2 476 ppm. Le niveau moyen de CO₂ dans le salon est habituellement inférieur à celui de la chambre à coucher en raison des pointes de CO₂ observées lorsque la porte de chambre est fermée durant la nuit.

Le bioxyde de carbone est également produit par les animaux domestiques, la fumée de cigarette, la combustion de chandelles, le procédé de fermentation de la bière et du vin et par les plantes dans leur procédé de photosynthèse au cours de la nuit. L'annexe 3 présente la production prévue de CO₂ provenant de différentes sources.

Résumé des observations :

Les différences mineures de concentrations de CO₂ dans les aires ouvertes indiquent qu'il y a un taux assez élevé de diffusion et de mélange de bioxyde de carbone entre les pièces d'un même étage dans une maison lorsque la porte séparant les zones est ouverte. Lorsque les portes entre les zones sont fermées, le niveau de CO₂ dans les zones occupées augmente et il y a peu de diffusion dans les autres parties du bâtiment (lorsque qu'aucun système de distribution d'air ne fonctionne). Dans les maisons où les portes de chambres à coucher restent ouvertes, le niveau de CO₂ dans le salon est un bon indicateur du niveau moyen dans les étages supérieurs de la maison. Le niveau de CO₂ dans le sous-sol peut être plus bas que dans les étages supérieurs et la circulation de ce volume d'air préchauffé pourrait servir à diluer les sources de contaminants d'air dans le reste de la maison. L'utilisation d'un poêle à bois a le même effet qu'une ventilation mécanique. Le taux d'occupation affecte également le niveau de CO₂ dans une maison. Lorsque les occupants quittent la maison, il ne faut que quelques heures pour que le niveau de CO₂ atteigne le niveau à l'extérieur. En vue de maintenir le niveau de CO₂ à l'intérieur entre 800 et 1000 ppm, on croit, d'après les résultats, qu'il faut environ 5 L/s d'air frais pour chaque personne supplémentaire dans une maison. Ce chiffre prend en considération le temps passé à l'extérieur de la maison et le volume de la maison.

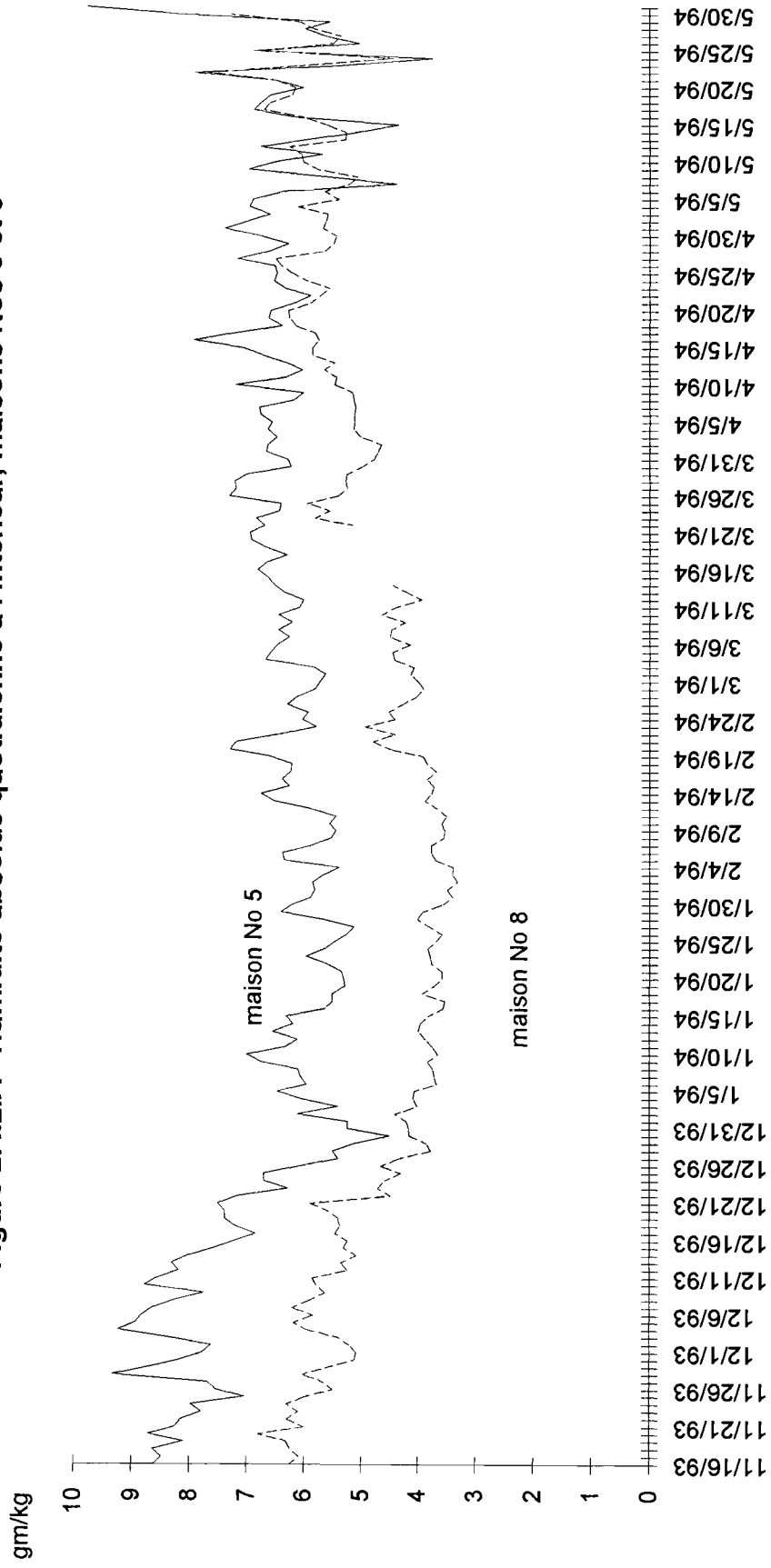
2.4.2 Variation saisonnière dans les niveaux d'humidité

La variation de l'humidité intérieure dans les huit maisons, de novembre à avril, est bien représentée dans le graphique suivant portant sur l'humidité intérieure absolue en fonction du temps, pour deux maisons ayant des caractéristiques semblables (maison d'essai n^o 5 et maison de contrôle semblable n^o 8). Une humidité absolue supérieure à 8,2 g d'humidité/kg d'air sec représente une humidité relative supérieure à 55 p. 100, à une température d'air inférieure à 21 C. Il est ainsi possible de tracer une ligne horizontale au point 8 g/kg pour créer une division entre les périodes où il y a des problèmes et celles où il n'y en a pas. Veuillez consulter la figure 2.4.2.A.

La maison n^o 5 représente la maison la plus étanche du sous-groupe et la maison no 8 est dotée du système de ventilation avec extraction et alimentation en air frais. Le nouveau système de ventilation a été installé dans la maison no 5 et a été mis en marche à la mi-décembre, mais n'a

⁴L'étalonnage des appareils d'enregistrement a été vérifié par la suite à des niveaux élevés de bioxyde de carbone et a révélé qu'à des niveaux supérieurs à 2 000 ppm, les appareils offrent une réponse non linéaire, calculant les niveaux ainsi : 2 000 ppm, 0 erreur; 4 000 ppm correspondant à 5 000 ppm, 5 000 ppm correspondant à 6 500 ppm. Le présent rapport ne tient pas compte des niveaux de CO₂ supérieurs à 2 000 ppm.

Figure 2.4.2.A Humidité absolue quotidienne à l'intérieur, maisons Nos 5 et 8



pas fonctionné au cours des deux premières semaines de janvier. Le niveau d'humidité dans la maison a diminué graduellement jusqu'au 31 décembre. Une autre différence importante à noter dans la maison no 5: les occupants dorment avec la porte fermée. L'enregistreur d'humidité et de CO₂ est situé dans la chambre à coucher et la porte fermée au cours de la nuit entraîne des niveaux de CO₂ et d'humidité quelque peu élevés. Avant la mise en marche du système de ventilation à l'automne, on a remarqué beaucoup de condensation dans les fenêtres.

Lors de l'enregistrement détaillé de l'humidité dans la maison, on a constaté que l'humidité relative au cours de la nuit augmentait constamment et qu'elle atteignait un plateau, probablement au moment où la condensation dans les fenêtres de la chambre à coucher commençait à se former. Le problème de condensation est une indication qu'il y a une ventilation insuffisante ou une production excessive d'humidité ou une combinaison des deux. Ce phénomène a été observé régulièrement dans une chambre à coucher à deux occupants, avec la porte fermée (maison n^o 5, 21-25 novembre 1993). La saturation de l'humidité relative dans la pièce se manifeste peu de temps après que la porte de la chambre soit fermée. Veuillez consulter la figure 2.4.2.B. L'humidité maximale atteinte dans la pièce à chaque jour dépend également de la température extérieure : 64 p. 100 à une température de -8 C et 61 p. 100 à une température de -12 C.

Problème de condensation à l'automne : cas particulier

Le début de l'automne est une période où se manifestent de graves problèmes de condensation dans plusieurs maisons québécoises, au moment où la température chaude d'été baisse subitement jusqu'au point de congélation au cours de la nuit. La condensation s'accumule dans les fenêtres et peut couler le long des murs et sur les planchers, ce qui peut être ennuyant et endommagé parfois les surfaces. Au fur et à mesure que la maison s'assèche durant les quelques semaines qui suivent, le problème de condensation diminue et peut même disparaître.

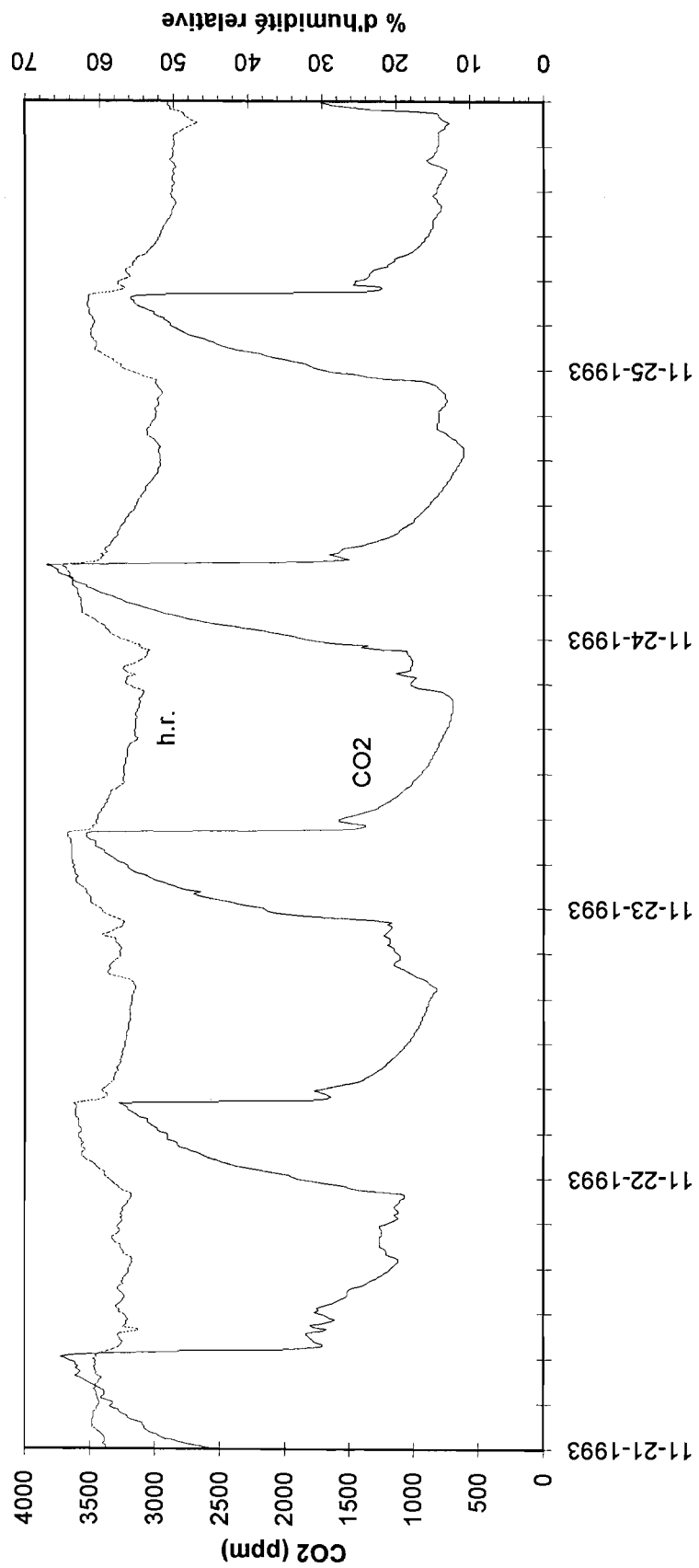
Ce problème est engendré par l'air humide et chaud de l'été qui est emprisonné dans la maison au cours d'une vague de froid soudaine, ainsi que par l'humidité absorbée par les murs et les planchers (particulièrement au sous-sol) au cours de l'été. Lorsque l'air chaud de l'été entre en contact avec les surfaces froides au sous-sol, il y a formation de condensation sur les surfaces et l'eau peut être absorbée par les matériaux. Lorsque le froid s'installe, les portes et les fenêtres sont fermées, ce qui emprisonne l'humidité déjà présente dans le bâtiment. Les maisons sont construites de sorte à pouvoir résister à la migration de la vapeur d'eau à travers les murs et les plafonds. L'air froid de l'extérieur abaisse la température des surfaces intérieures comme celle des fenêtres et des portes jusque sous le point de rosée de l'air intérieur, entraînant ainsi la formation de condensation sur ces surfaces.

Un bon contrôle des sources d'humidité et la ventilation à l'aide d'air sec provenant de l'extérieur sont les seules façons d'abaisser le niveau d'humidité à l'intérieur. Au cours des essais, nous avons remarqué l'utilisation des moyens suivants pour contrôler l'humidité et la qualité de l'air intérieur :

- ouverture des fenêtres pour de longues périodes
- utilisation d'un poêle à bois
- ouverture du registre du foyer en automne
- fonctionnement d'un système de ventilation avec entrée d'air frais
- installation d'un système de ventilation à turbine

Les ventilateurs d'extraction dans les salles de toilettes (où il y en a) dans les maisons faisant l'objet de la présente étude sont utilisés en moyenne de 0,5 à 1,5 heure par jour. Les ventilateurs dans les cuisines sont utilisées en moyenne de 15 à 45 minutes par jour. Les sècheuses à linge, qui laissent échapper environ 30 L/s d'air intérieur, sont utilisées en moyenne de 45 minutes à 2 3/4 heures par jour. Le fonctionnement de ces appareils n'affecte pas

Figure 2.4.2.B Niveaux de CO2 et d'humidité relative dans la chambre à coucher principale, maison No 5



beaucoup l'humidité intérieure car ils sont peu utilisés. L'extraction mécanique assure en moyenne moins de 5 L/s en ventilation.

Le problème de condensation qui survient à l'automne sera étudié en détail à l'automne 1994 dans le même groupe de huit maisons. Les résultats seront présentés dans un rapport de suivi.

2.5 Taux de ventilation quotidien moyen prévu

Le bioxyde de carbone produit par les occupants peut être utilisé comme un gaz de dépistage pour prévoir le taux de ventilation de chaque maison. L'annexe 3 donne les détails de la méthode utilisée pour en arriver à ces résultats et présente les erreurs qui peuvent survenir. La méthode retenue se sert du volume de la maison, des niveaux quotidiens moyens mesurés de bioxyde de carbone et de l'estimation du taux d'occupation, de la quantité de fumée de cigarette et du nombre de chandelles brûlées. Le taux d'erreur prévu dans de telles estimations est assez grand à cause du caractère variable de production du bioxyde de carbone par les animaux et les hommes, de la nature transitoire du taux d'occupation et de la diffusion inégale du bioxyde de carbone à l'intérieur de la maison. Néanmoins, ces estimations nous éclairent davantage sur la ventilation naturelle des maisons, notamment sur la gamme étendue au niveau moyen de ventilation quotidienne. Les contributions de CO₂ apportées par la fumée de cigarette et par la combustion de chandelles ont été ajoutée au taux d'occupation pour les maisons nos 1, 3 et 8. L'impact apporté par la présence d'animaux sur la production de CO₂ est inférieur à 3 p. 100 dans la plupart des maisons et n'a donc pas été pris en considération.

L'annexe 3 présente également des histogrammes des taux de ventilation prévus en hiver. Le tableau 2.5.1 résume l'histogramme du mode et de la gamme de ventilation quotidienne moyenne pour chaque maison.

Tableau 2.5.1 Taux de ventilation évalué en fonction des quantités mesurées de CO₂ et du taux d'occupation

Maison n ^o	Mode (L/s)	Gamme (L/s)
1	4	De 2 à 6
2	19	De 8 à 72
3	9	De 2 à 59
4	30	De 9 à 72
5*	13	De 9 à 42
5**	19	De 19 à 72
6	8	De 4 à 28
7	9	De 4 à 15
8	21	De 11 à 43

*Système de ventilation, à l'arrêt

**Système de ventilation, en circuit (10 L/s d'air frais)

2.6 Effets des systèmes de ventilation sur l'environnement intérieur

Cette section porte sur la description des cinq différents systèmes de ventilation utilisés au cours des essais sur le terrain ainsi que sur les effets des niveaux d'humidité et de bioxyde de carbone à l'intérieur des maisons. La sélection des huit premières maisons reposait sur le fait qu'elles possédaient des équipements de ventilation d'intérêt pour cette étude ou que les nouveaux systèmes de ventilation envisagés pouvaient s'y implanter facilement. L'impact sur les niveaux d'humidité et de bioxyde de carbone a été étudié lorsque les systèmes de ventilation étaient en

d'humidité et de bioxyde de carbone a été étudié lorsque les systèmes de ventilation étaient en fonction ou complètement inutilisés afin d'isoler la contribution apportée par les équipements de ventilation sur la qualité de l'air intérieur. D'autres maisons ont été réaménagées tel qu'indiqué au tableau 2.6.A ci-après.

Tableau 2.6.A Vue sommaire de l'équipement de ventilation éprouvé

Maison n°	Équipement	Ventilation prévue
1	Turbine (Système E)	Extraction seulement (forces naturelles)
2	Turbine (Système E)	Extraction seulement (forces naturelles)
3	Ventilateur d'extraction combiné à une sonde de température extérieure*, travaux de réaménagement (Système A)	Extraction seulement, au cours de périodes clémentes (environ 21 L/s)
4	Deux ventilateurs de circulation au sous-sol, travaux de réaménagement (Système B)	Mélange continu (de 42 à 57 L/s) entre le sous-sol et le rez-de-chaussée et pressurisation mineure du sous-sol (débit non équilibré)
5	Système de distribution d'air dans le grenier, desservant les chambres et le couloir, avec système d'extraction de salle de toilettes combiné à une sonde de température extérieure*, travaux de réaménagement (Système C)	9 L/s d'air frais, contrôlé à partir d'un mélange avec l'air des chambres; extraction par temps clément
6	Ventilateur d'extraction, avec moteur à l'extérieur et couvercle motorisé, ainsi qu'avec un capteur d'humidité relative intérieure (travaux de réaménagement, Système A)	Taux d'extraction correspondant environ à 28 L/s si l'humidité intérieure est élevée, à une valeur supérieure au point de consigne
7	Aucun	Ventilation naturelle
8	Système de distribution d'air aspirant l'air des corridors et relié à un échangeur d'air équilibré (alimentation d'air frais et extraction d'air vicié). (Système D)	Taux d'alimentation d'air frais et d'extraction à 18 L/s, contrôlé à partir d'un mélange avec l'air des chambres

* La sonde de température extérieure est réglée afin d'assurer une mise en circuit entre 2 C et 18 C.

La description des observations se rapportant à chacun des types de systèmes fait l'objet des sections suivantes.

2.6.1 Systèmes de ventilation à turbine (Système E)

Les propriétaires des maisons n^{os} 1 et 2 avaient antérieurement installés des systèmes de ventilation à turbine afin de réduire les problèmes de condensation. Par la suite, les clients n'ont jamais observé d'autres problèmes de condensation et par temps froid aucune plainte n'a été formulé sur le retour éventuel d'air frais par la grille d'évacuation du plafond. La maison no 1 comporte deux conduits raccordés via un raccord en Y à la turbine sur le toit; l'un de ces conduits est raccordé à une grille d'évacuation du plafond du rez-de-chaussée et l'autre, à une grille située au plafond du sous-sol. La maison no 2 comprend un conduit simple de 6" de diamètre, servant à raccorder la grille au plafond du rez-de-chaussée à la turbine sur le toit. Les occupants de la maison no 1 utilisent le foyer chauffant au bois dans le sous-sol. La conduite reliant la turbine dans la maison no 2 a été bloquée au cours d'une période d'une semaine (du 7 au 14 janvier), afin d'observer toute incidence sur le niveau des paramètres environnementaux

mesurés dans cette étude. L'on a enregistré le débit d'air dans chaque système de ventilation à turbine au cours de la saison de chauffage et calculé ainsi le contenu énergétique de l'air de remplacement. L'annexe 4 décrit l'instrumentation utilisée de façon plus détaillée.

Le comportement du système de ventilation utilisant une turbine est décrit à l'aide des tableaux suivants. Au cours du mois de décembre, la moyenne d'extraction des turbines des deux maisons se trouvait entre 10 et 21 L/s. Avec le temps, l'on a remarqué une chute graduelle et importante dans le débit, la cause de cette chute ayant subséquemment été rattachée à l'encrassement de la sonde du débitmètre. Les sondes de débit dans les maisons n^{OS} 1 et 2 n'ont pas été nettoyées jusqu'aux mois de mai et d'avril respectivement. Une correction des données enregistrées pour la maison n^O 2 a été apportée en appliquant une correction linéaire au débit vacillant de 1,0 à 4,0 depuis le 10 décembre jusqu'au 18 avril. Le tracé de la figure 2.6.1.A représente les résultats obtenus. Comme l'on s'en attendait, les plus grands débits se sont manifestés au cours de la période la plus froide, aux environs du mois de janvier.

La figure 2.6.1.B présente des niveaux de CO₂ mesurés dans les deux maisons :

- En laissant la maison no 1 à l'état inoccupé, le niveau de CO₂ descend dans un intervalle de quelques heures au niveau de CO₂ à l'extérieur (maison n^O 1, du 3 au 7 janvier).
- La même figure permet de constater que la présence de personnes additionnelles dans la maison n^O 2 accroît le niveau de CO₂ (du 4 au 9 janvier).
- La même figure permet aussi de constater que la fermeture de la turbine de la maison n^O 2 entre le 7 et le 14 janvier entraîne une augmentation du niveau de CO₂ dans cette maison, selon un accroissement d'environ 200 ppm.

La figure 2.6.1.C présente les niveaux d'humidité absolus dans les maisons n^{OS} 1 et 2 :

- Les niveaux d'humidité dans les deux maisons à turbine présentent aussi un motif semblable à celui des niveaux de CO₂, mais les changements se manifestent beaucoup plus en retard à cause de l'effet d'entreposage des matériaux de construction et du mobilier. Durant la période où la maison n^O 1 était inoccupée (du 3 au 7 janvier), il est possible de constater la chute graduelle des niveaux d'humidité absolue au cours des trois premières journées.
- Au cours de la période où la turbine de la maison n^O 2 avait été bloquée (du 7 au 14 janvier), l'on peut constater l'augmentation graduelle de l'humidité absolue. Après la remise en fonction de cette turbine, le niveau d'humidité demeure plus élevé dans la maison no 2 que dans la maison no 1 pendant plusieurs jours.

Une attention particulière a également été portée sur la relation possible entre la vitesse du vent, la température extérieure et le débit des turbines sur une moyenne quotidienne.

L'on a tenté de déterminer le rapport entre le débit des turbines et les facteurs atmosphériques, selon ce qui suit :

- Des diagrammes de dispersion du débit moyen des turbines sur une base quotidienne par rapport au vent sur une moyenne quotidienne présentent un écart marqué, la cause de cet écart étant partiellement rattachée au problème d'encrassement des sondes des débitmètres. Le problème a été décelé une fois que l'on s'est rendu compte qu'il y avait une tendance marquée de baisse du débit avec le temps. Se reporter à la figure 2.6.1.D.
- La figure 2.6.1.E présente un tracé du débit des turbines des maisons n^{OS} 1 et 2 sur une moyenne quotidienne par rapport à la vitesse du vent au cours de différentes journées où la

Figure 2.6.1.A Débit corrigé de la turbine de la maison No 2

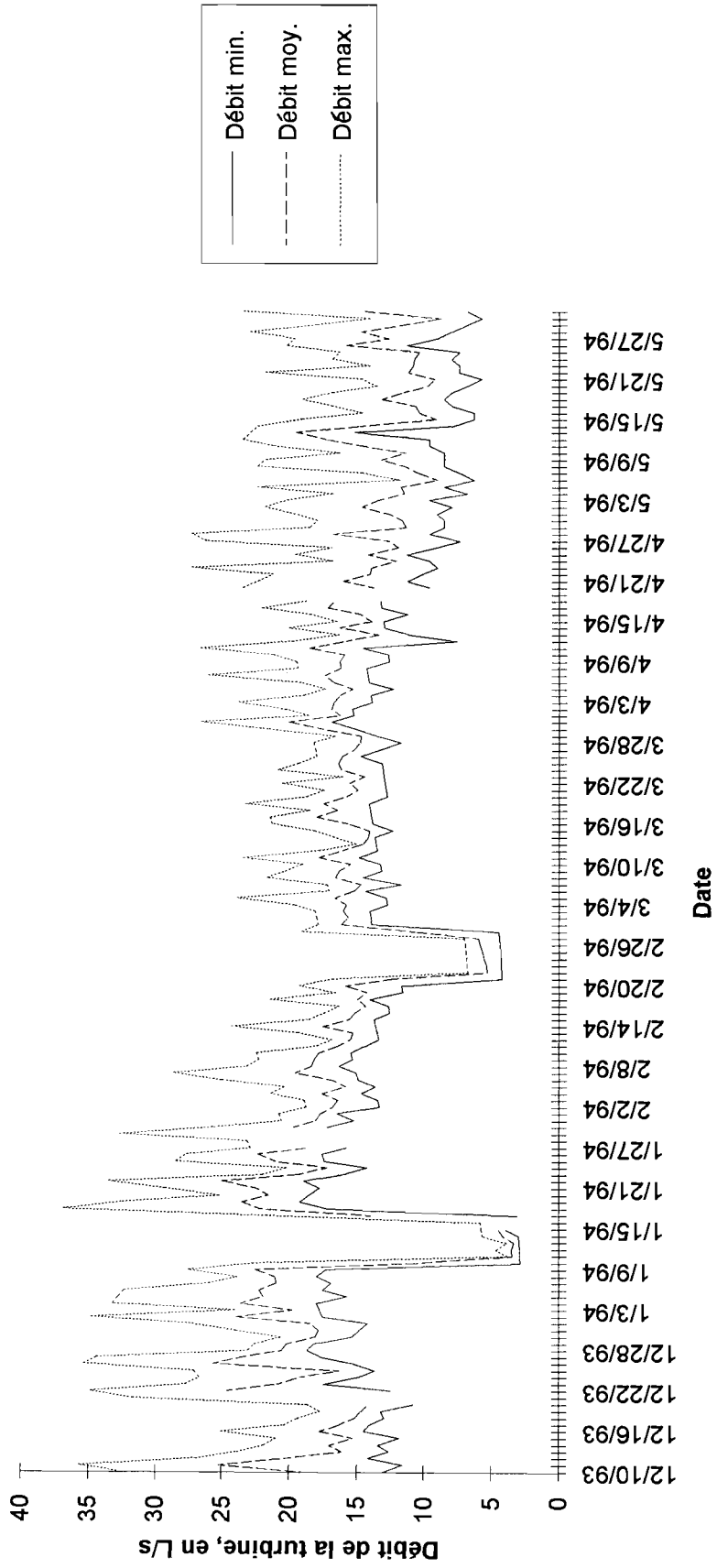


Figure 2.6.1.B Niveaux de CO2 dans les maisons à turbine Nos 1 et 2

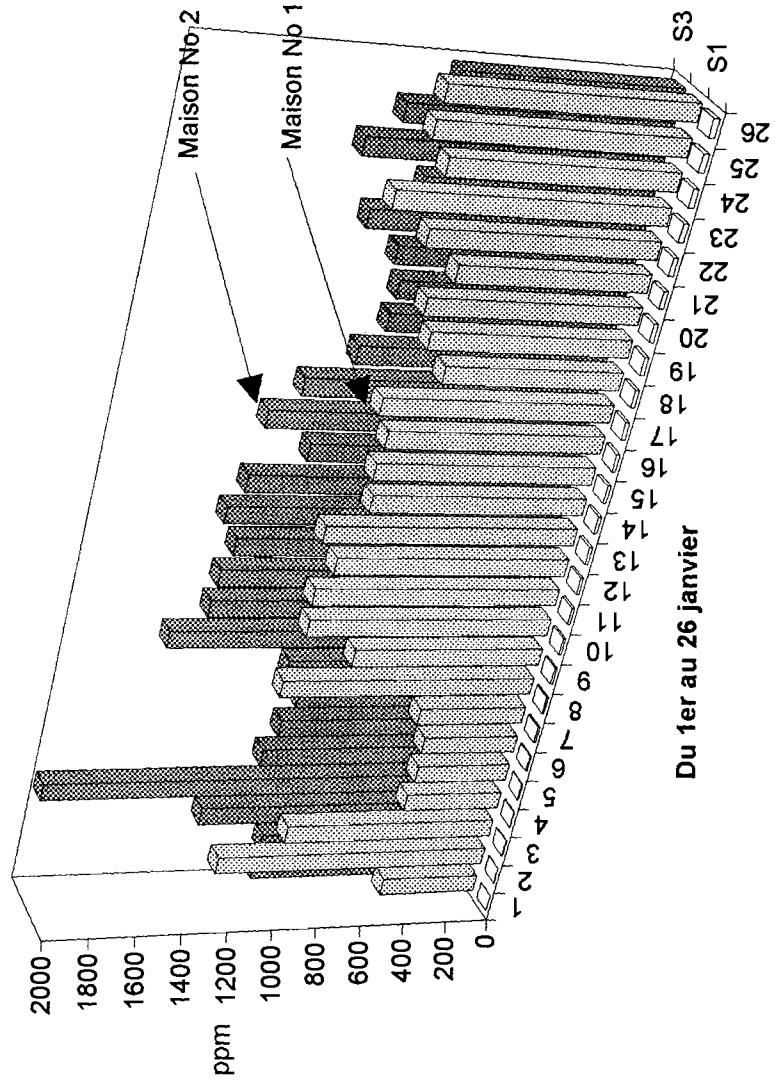


Figure 2.6.1.C Niveaux d'humidité absolue dans les maisons a turbine Nos 1 et 2

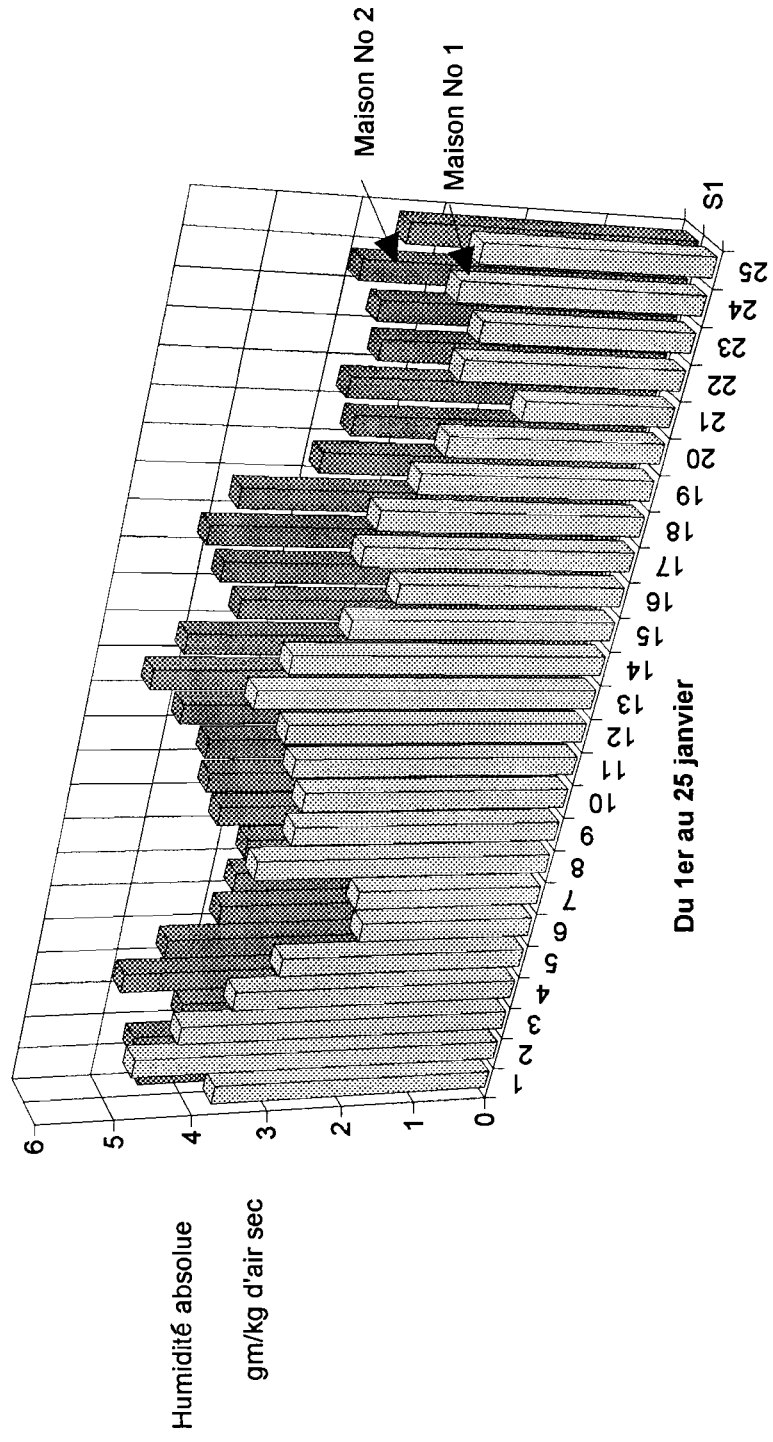


Figure 2.6.1.D Rapport entre le débit des turbines et la vitesse du vent (Maison No 1)
(données sur une moyenne d'un jour)

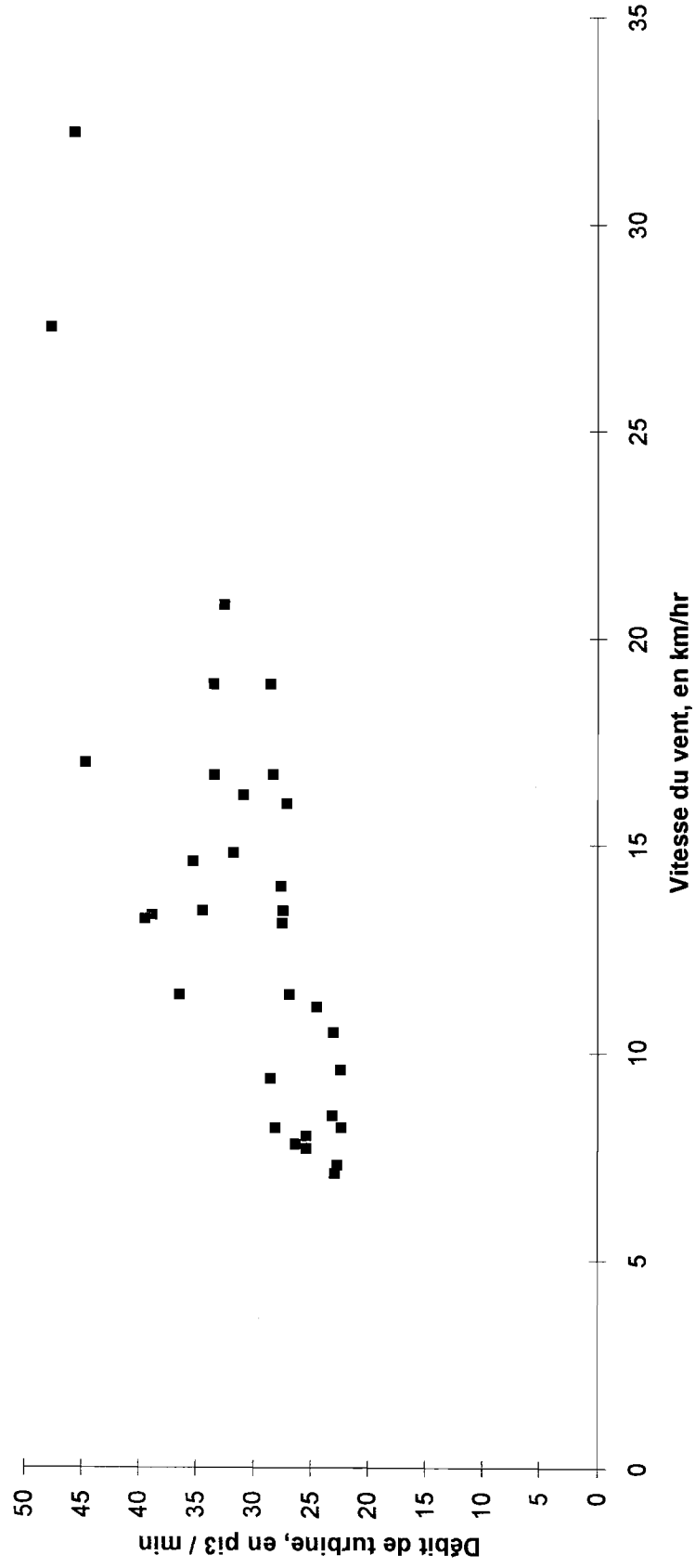
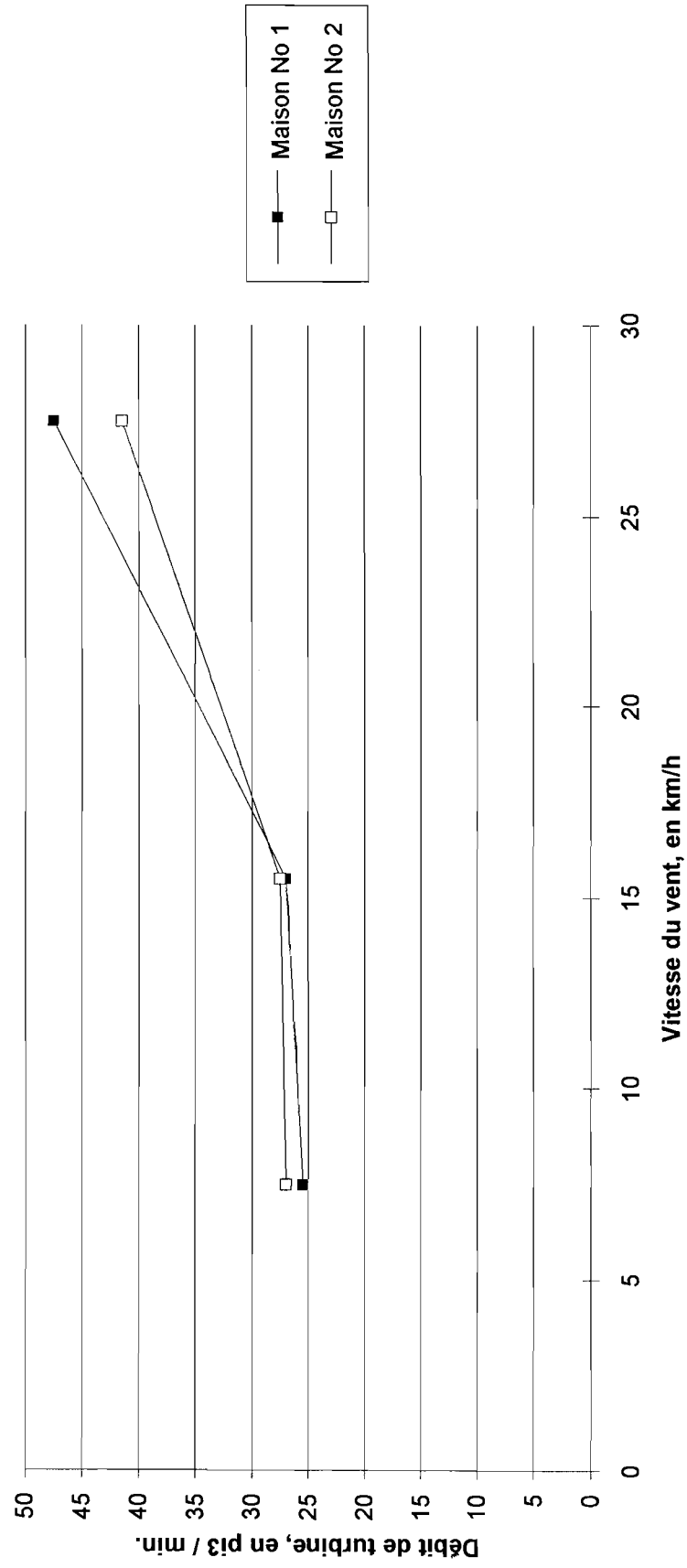


Figure 2.6.1.E Débit de turbine par rapport à la vitesse du vent, avec une température à -15C



température est la même, soit à -15C. Le tracé du débit de turbine par rapport à la température extérieure indique que la dépendance du débit sur la température extérieure n'est pas aussi prononcée au cours de différentes journées où la vitesse du vent était à 7 km/h; prière de se reporter à la figure 2.6.1.F. La vitesse du vent semble avoir un effet plus marqué sur le débit des turbines que la différence entre les températures intérieure et extérieure, mais la variation des mesures est très étendue.

- Le rapport entre le débit des turbines et la température extérieure ainsi qu'entre le débit des turbines et la vitesse du vent a été étudié davantage en examinant les données détaillées sur 10 minutes (près du début de la période d'enregistrement), alors que l'effet d'encrassement (qui devint évident plus tard dans la saison) sur la sonde de mesure était minime. L'annexe 4 fournit des résultats détaillés à ce sujet. Les conclusions tirées sont que le rapport entre le débit des turbines et la vitesse du vent, même au niveau de détail de 10 minutes, présente des variations relativement prononcées au cours des périodes de temps où la température était constante, à 2 degrés près, et que le rapport entre le débit et la température n'était aussi pas très prononcé et qu'il présentait également des variations marquées.

Le contenu énergétique de l'air sortant de la turbine dépend du produit du débit et de la différence entre les températures intérieure et extérieure. L'erreur au niveau des lectures de vitesse d'air s'est accrue par encrassement graduel des sondes débitmètres au cours de l'hiver, ce qui veut dire que les pertes calculées en énergie seront sous-évaluées et de façon plus appréciable à mesure que la saison progresse.

- Le contenu énergétique de l'air sortant de la turbine depuis la mi-décembre jusqu'à la fin du mois de février se chiffre entre 5 et 30 kWh par jour, ce qui représente de 7 à 24 p. 100 de l'électricité totale utilisée par la maison n° 1 et environ 12,5 p. 100 de l'électricité totale utilisée au cours de cette période. À remarquer que les valeurs de débit avancées englobent une erreur qui va en s'accroissant après les quelques premières semaines d'exploitation en raison de l'encrassement des capteurs de débit. Prière de se reporter à la figure 2.6.1.G qui fournit un exemple. Pour ce qui est de la maison no 2, le contenu en énergie de l'air s'échappant de la turbine se trouve entre 4 et 25 kWh par jour et représente de 7 à 22 p. 100 de la consommation quotidienne d'électricité et 10 p. 100 de la consommation d'énergie par cette maison au cours de la même période.

2.6.2 Système d'extraction seulement (Système A)

Un ventilateur d'extraction à faible niveau sonore de 21,5 L/s a été remplacé dans la salle de bain de la maison n° 3. Une sonde de température extérieure a été réglée afin d'assurer la mise en circuit de ce ventilateur pour une gamme de température extérieure située entre 2 et 18° C. Le ventilateur serait inutilisé au cours des périodes très froides et lors des périodes chaudes, alors que les fenêtres seraient probablement ouvertes. La vérification du contrôle est assurée par l'enregistrement de l'état du ventilateur au niveau du système d'acquisition de données. Dans la maison no 6, un ventilateur d'extraction mural muni d'un couvercle motorisé a été installé en fin de saison sur un mur extérieur de la maison. L'opération du ventilateur était contrôlé par une sonde d'humidité relative intérieure (45% ou 55% d'humidité relative). Le client constata que le système était trop bruyant et décida de ne plus l'utiliser. La chute en humidité dans la maison n° 3 au printemps est attribuable à l'exploitation du ventilateur d'extraction.

Au moment l'implantation des nouveaux types de contrôle en fin d'automne et en hiver, les températures extérieures étaient bien inférieures à 0 C, les niveaux d'humidité intérieurs étaient faibles ce qui a entraîné l'inutilisation des ventilateurs. C'est seulement au début du mois d'avril que la température a dépassé le point d'enclenchement, permettant ainsi aux ventilateurs

Figure 2.6.1.F Débit de turbine par rapport à la température extérieure, avec une vitesse de vent à 7 km/hr

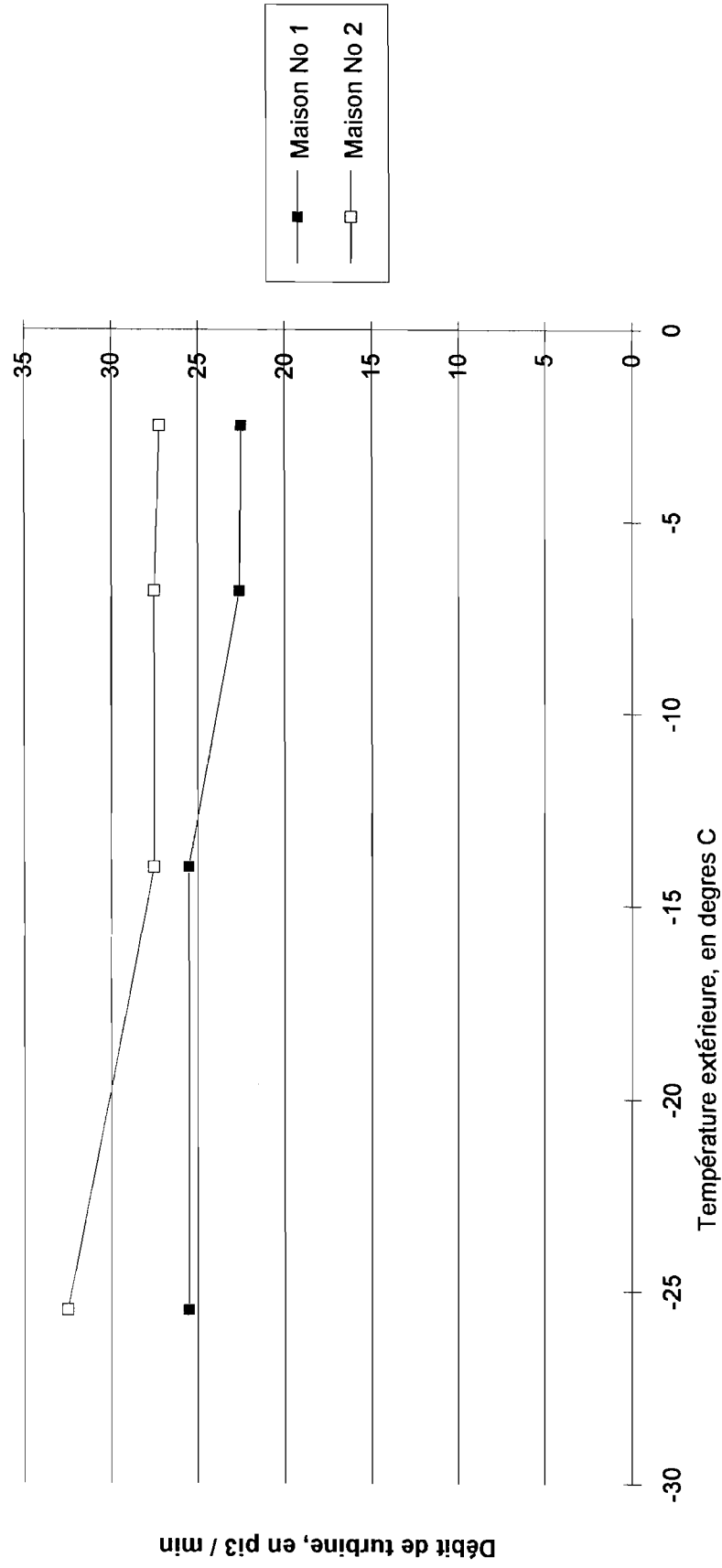
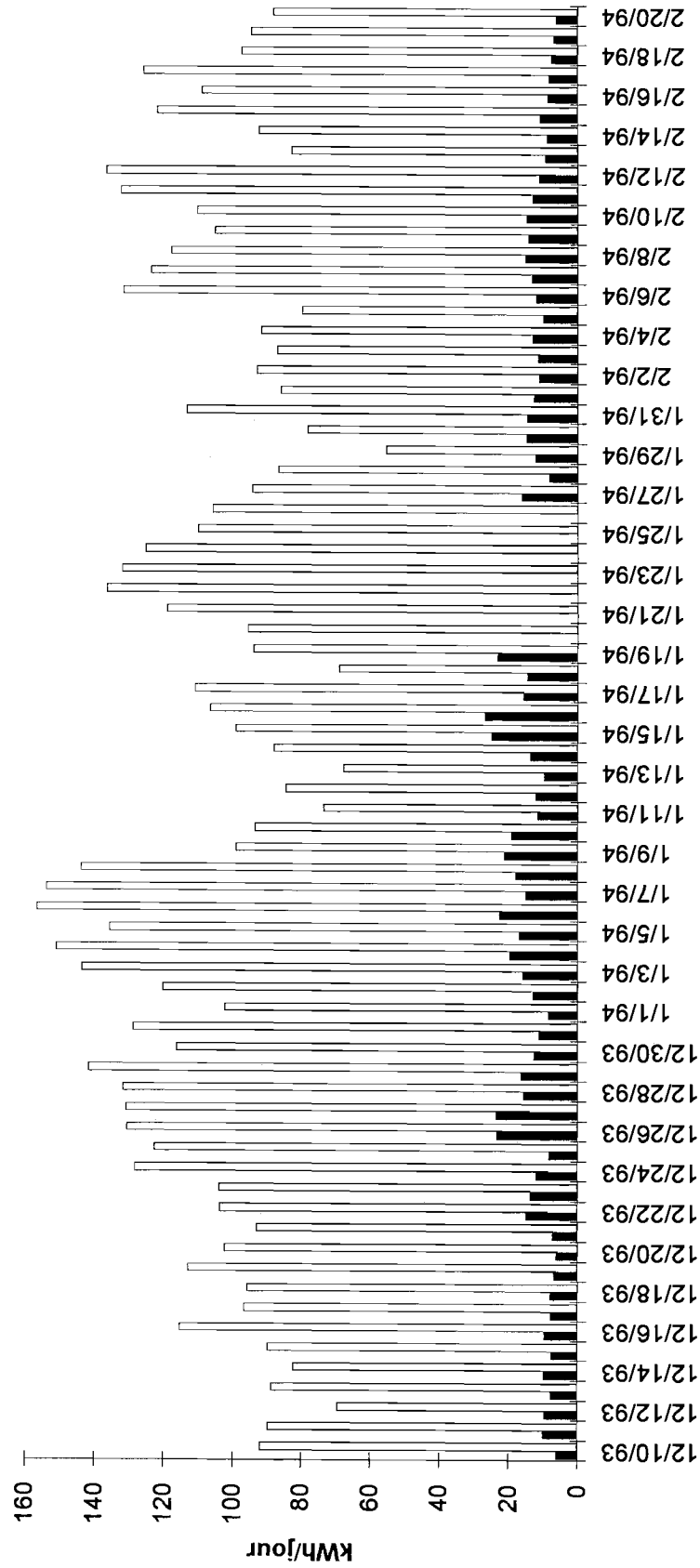


Figure 2.6.1.G Consommation totale d'énergie pour la maison no 1 et énergie d'extraction à l'emplacement de la turbine



d'extraction de fonctionner pendant quelques heures. À cette époque de l'année, la combinaison de l'humidité intérieure et des températures extérieures n'entraîna aucun problème de condensation. À partir des données enregistrées sur l'humidité, il est évident qu'il n'est pas nécessaire d'assurer une ventilation des maisons n^{OS} 3 et 6 à ce temps de l'année afin de contrôler leurs niveaux d'humidité. Prière de se reporter à la figure 2.6.2.A. Il se peut que d'autres problèmes se rattachant à la qualité de l'air et nécessitant de la ventilation se manifestent, comme dans le cas de niveaux de formaldéhyde élevés. En raison du niveau plus élevé d'humidité dans la maison en automne, l'on s'attend à ce que l'impact du fonctionnement des ventilateurs d'extraction soit plus important sur l'humidité intérieure en automne qu'au printemps. Le fonctionnement du ventilateur d'extraction dans la maison no 3 aux mois d'avril et de mai semble avoir entraîné une réduction du niveau moyen de CO₂ à une valeur inférieure à 800 ppm par jour (le fonctionnement moyen au cours des deux mois d'avril et de mai correspondait à 17 heures par jour). Se reporter à la figure 2.6.2.B.

2.6.3 Système de mélange à partir de ventilateurs au plancher (Système B)

La maison n^o 4 comporte deux ventilateurs, dont l'un est situé dans le plancher du salon qui pousse l'air vers le haut à partir de la salle de séjour au sous-sol où fonctionne normalement un poêle à bois et l'autre ventilateur est situé dans un mur de l'escalier donnant au sous-sol, afin de pousser l'air vers le bas. La porte donnant au sous-sol est normalement gardée en position fermée. La capacité du deuxième ventilateur est intentionnellement établie à 14 L/s de plus que le débit du premier ventilateur, afin d'entraîner un déséquilibre de débit entre les étages. L'écoulement d'air engendré par ces ventilateurs entraîne un plus grand mélange d'air intérieur et le déséquilibre au niveau des débits peut contribuer au maintien d'une pression quelque peu plus élevée dans le sous-sol par rapport à l'étage supérieur, ce qui tend à abaisser la zone de pression neutre. Le changement réel au niveau des pressions absolues sera fonction de la différence entre les débits de même que de l'emplacement et de la grandeur de la fuite dans les travaux d'ossature.

L'usage considérable du bois dans cette maison tend à garder l'humidité et le bioxyde de carbone à de faibles niveaux la plupart du temps. La fermeture des portes de chambre à l'occasion entraîne des niveaux élevés de bioxyde de carbone. Les changements les plus manifestes dans les niveaux d'humidité et de bioxyde de carbone dans la maison une fois les ventilateurs mis en circuit au début du mois de janvier correspondaient à une réduction marquée dans l'amplitude des oscillations de l'humidité et du bioxyde de carbone. Cette amplitude plus réduite s'accompagne d'une réduction des niveaux de crête atteints qui auraient ainsi tendance à réduire la condensation de même que les niveaux de crête de CO₂ sur une base locale. Se reporter aux figures 2.6.3.A et 2.6.3.B.

Les occupants trouvèrent également que le fonctionnement du système facilitait la distribution de la chaleur du poêle à bois aux autres pièces de la maison et qu'il réduisait les effets de surchauffe dans la salle de séjour du sous-sol où se trouve le poêle.

2.6.4 Système d'amenée d'air frais et ensemble d'extraction des chambres à coucher (Système C)

Le système monté dans la maison n^o 5 comprenait une prise d'air frais (9 L/s) et un système de mélange retirant 19 L/s d'air de chacune des trois chambres à coucher et repoussant l'air mélangé dans le corridor. L'on a aussi remplacé un ventilateur d'extraction de salle de toilettes par un ventilateur silencieux, à nouvelle commande assortie, réglée afin d'assurer le fonctionnement du ventilateur d'extraction au cours de périodes où la température extérieure se trouve entre 2 et 18C.

Figure 2.6.2.A Moyenne quotidienne de l'humidité absolue dans les maisons nos 3 et 6

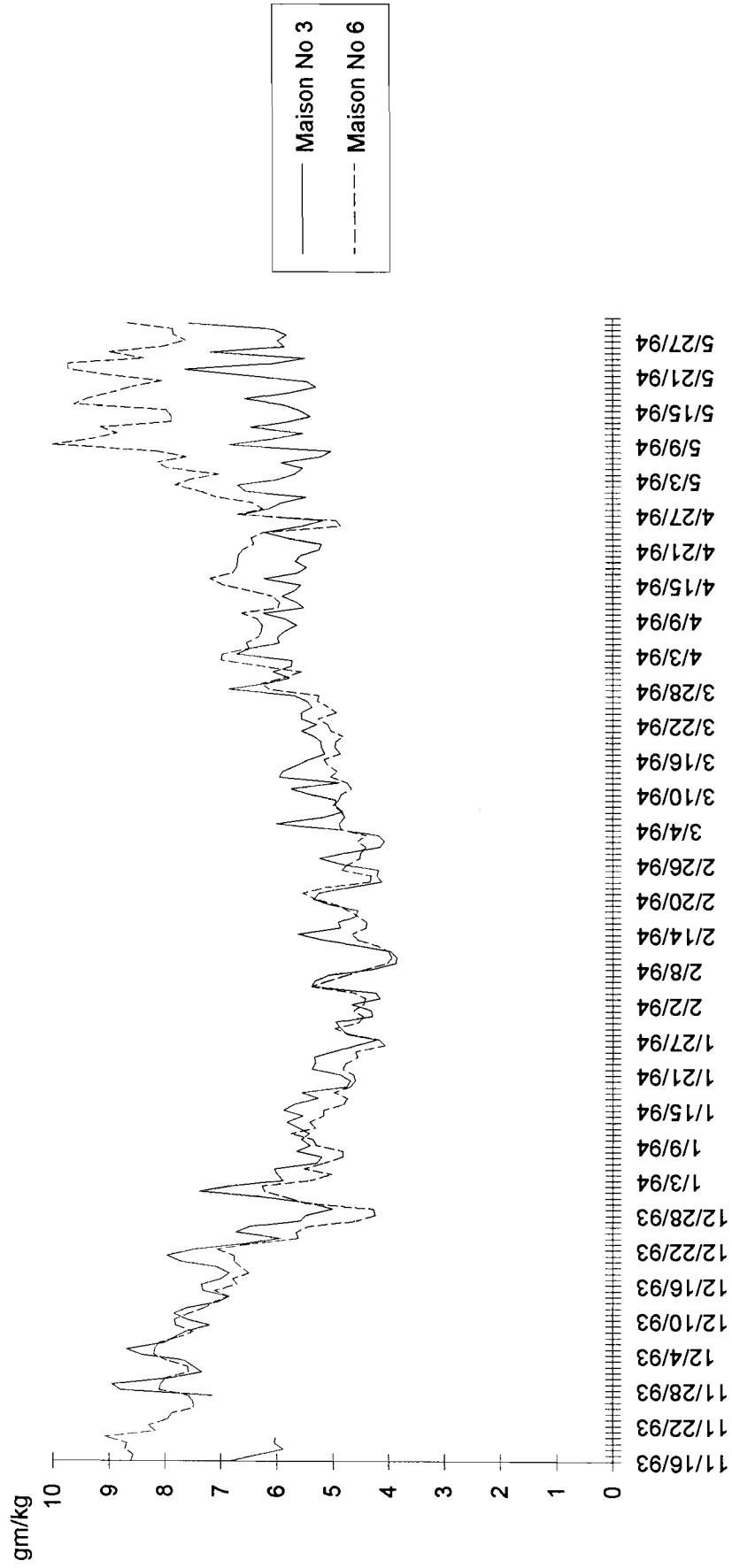


Figure 2.6.2.B Moyenne quotidienne des niveaux de CO2 dans les maisons Nos 3 et 6

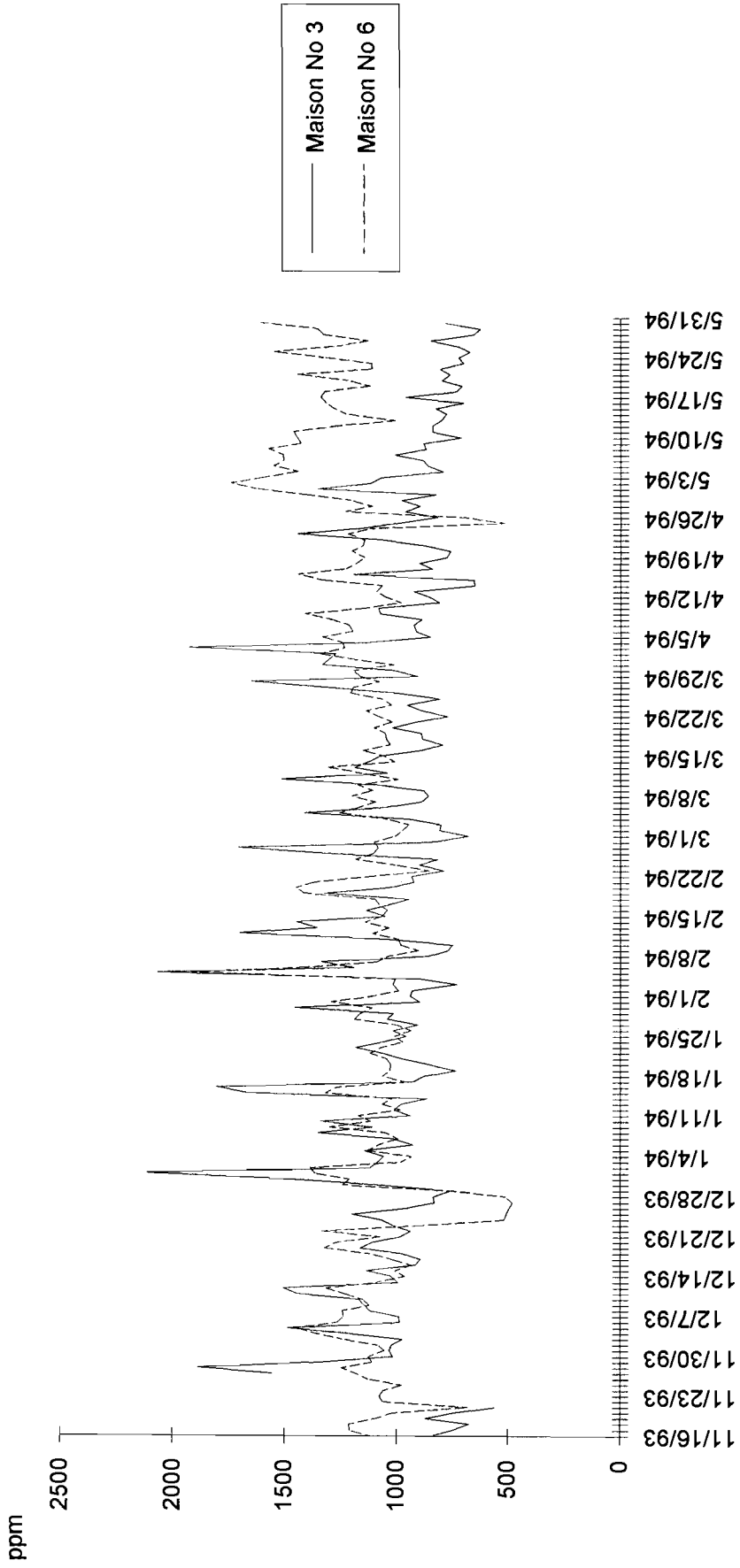


Figure 2.6.3.A Oscillation quotidienne de l'humidité absolue dans la maison No 4

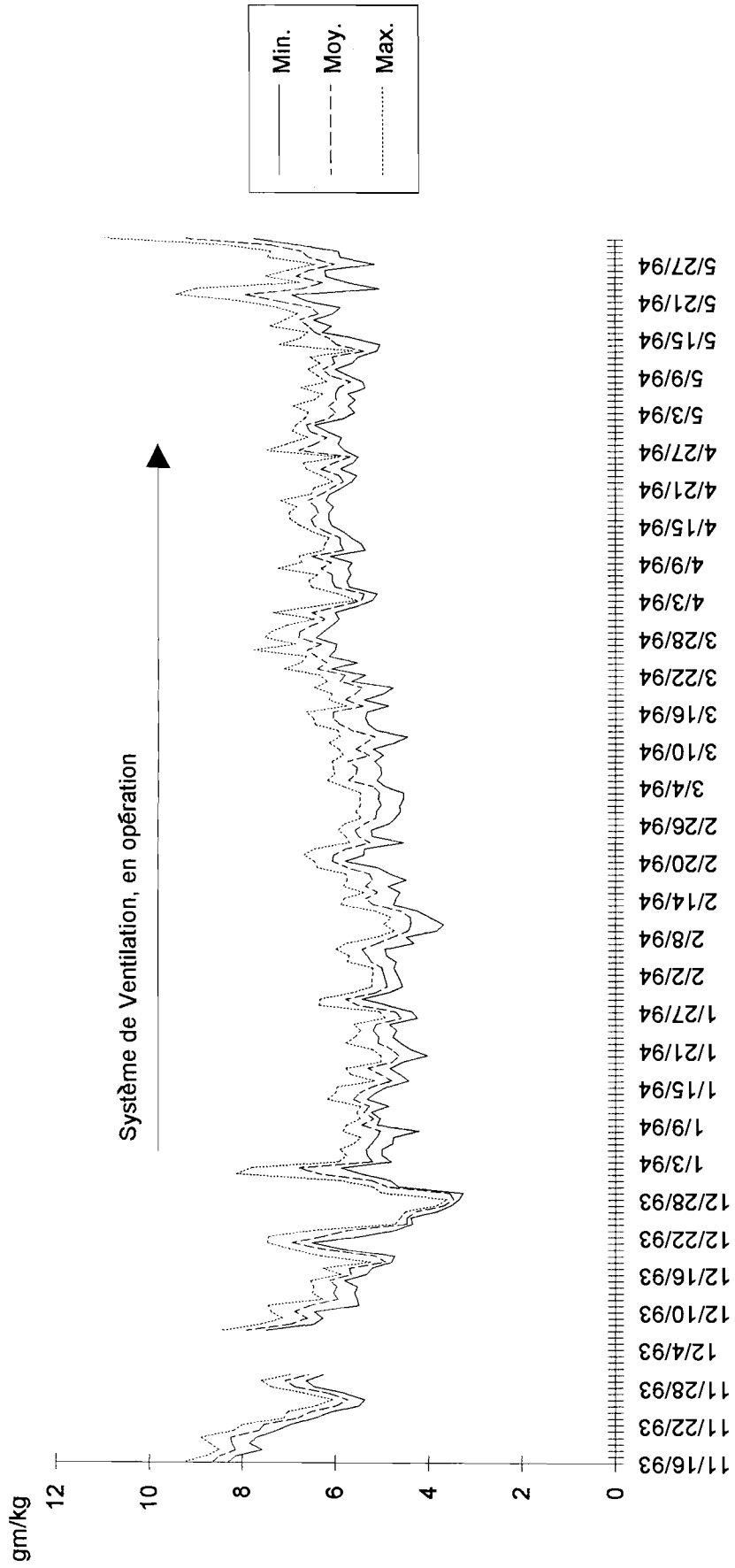
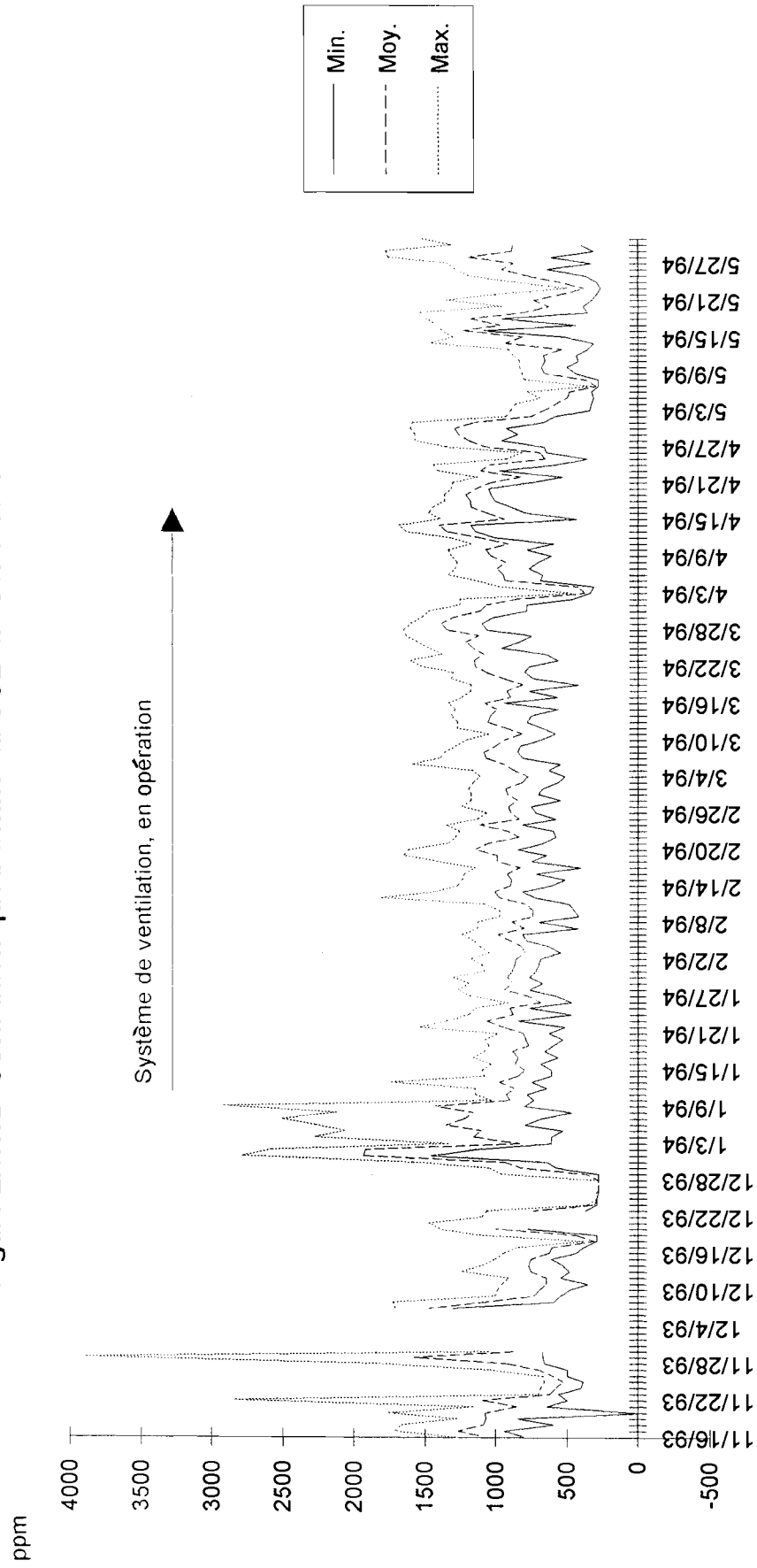


Figure 2.6.3.B Oscillation quotidienne du CO2 dans la maison No 4



Les occupants de cette maison gardent normalement leur porte de chambre fermée pour dormir. La figure 2.6.4.A montre que les effets du nouveau système de ventilation (dont la mise en circuit s'est faite au milieu du mois de décembre) sur l'humidité intérieure et sur le CO₂ sont clairement visibles. Les niveaux de bioxyde de carbone descendirent immédiatement. Les niveaux de crête tombèrent de 4 000 ppm à 1 500 ppm et les niveaux moyens descendirent d'environ 2 000 à 1 100 ppm. L'arrêt du nouveau système pendant une semaine, à compter du 3 janvier, entraîna une augmentation du bioxyde de carbone aux niveaux antérieurs au cours de cette semaine. À compter du 9 avril, le ventilateur d'extraction se mit à fonctionner pendant de plus longues périodes de temps, ce qui permet de constater que le niveau de bioxyde de carbone descendit modérément. À ce stade, la ventilation additionnelle qui provient du ventilateur d'extraction semble être inutile aux fins de contrôle du bioxyde de carbone. Il peut ne pas en être de même pour le formaldéhyde et les autres polluants.

2.6.5 Système de distribution d'air avec alimentation et extraction équilibrées (Système D)

La maison no 8 possédait un échangeur d'air relié à un réseau de distribution. Le système prend l'air vicié des étages (à grande vitesse) et l'achemine à l'échangeur qui évacue 20,5 L/s de cet air vicié, le débit résiduel étant mélangé à 20,5 L/s d'air frais pour être ensuite retourné au sous-sol. Le système fonctionnait à grande vitesse seulement. La stratification du bioxyde de carbone dans cette maison a fait l'objet d'une description antérieure à la section 2.4.1.

Les niveaux d'humidité et de bioxyde de carbone dans cette maison étaient très faibles par rapport à ceux des sept autres maisons. C'est à l'exploitation de la prise d'air frais et du système connexe d'extraction que l'on doit ces faibles niveaux. Voir les figures 2.6.5.A et 2.6.5.B qui présentent l'oscillation quotidienne dans les niveaux respectifs d'humidité absolue et de bioxyde de carbone.

2.7 Le coût d'une ventilation additionnelle

2.7.1 Maisons étanches

Si l'on connaît le taux d'émission des polluants de chaque contaminant d'air dans chacune des maisons à l'étude, il est possible de spécifier la ventilation minimale requise afin de garder le polluant le plus critique à un niveau acceptable. Par contre, la ventilation naturelle des maisons varie selon les conditions atmosphériques et selon les activités des occupants. Le défi est donc de déterminer la quantité de ventilation additionnelle requise et le moment d'application de cette ventilation additionnelle.

Dans le cas des maisons à problèmes de condensation en automne (les maisons no 3 et n^o 6, p. ex.), ces derniers peuvent être résolus en augmentant la ventilation. L'on a constaté que quatre des huit maisons à l'essai qui utilisent un poêle à bois ou un foyer au cours de l'automne et de l'hiver ne semblaient avoir aucun problème de condensation. Les poêles à bois étanches à l'air assurent l'ajout de 9 à 14 L/s additionnels de ventilation et les foyers peuvent assurer l'ajout d'une ventilation considérablement plus élevée.

Pour ce qui est des maisons à faible ventilation chronique et à problème d'humidité élevée en automne, comme dans le cas de la maison n^o 5, l'on a constaté que l'ajout constant de 9 L/s additionnels de ventilation assurait le maintien du niveau moyen de CO₂ entre 1 000 et 1 500 ppm dans la chambre principale. Nous surveillerons son rendement du point de vue de la condensation en automne, compte tenu de cette ventilation additionnelle. La maison n^o 5

Figure 2.6.4.A Oscillation quotidienne de l'humidité absolue dans la maison No 5

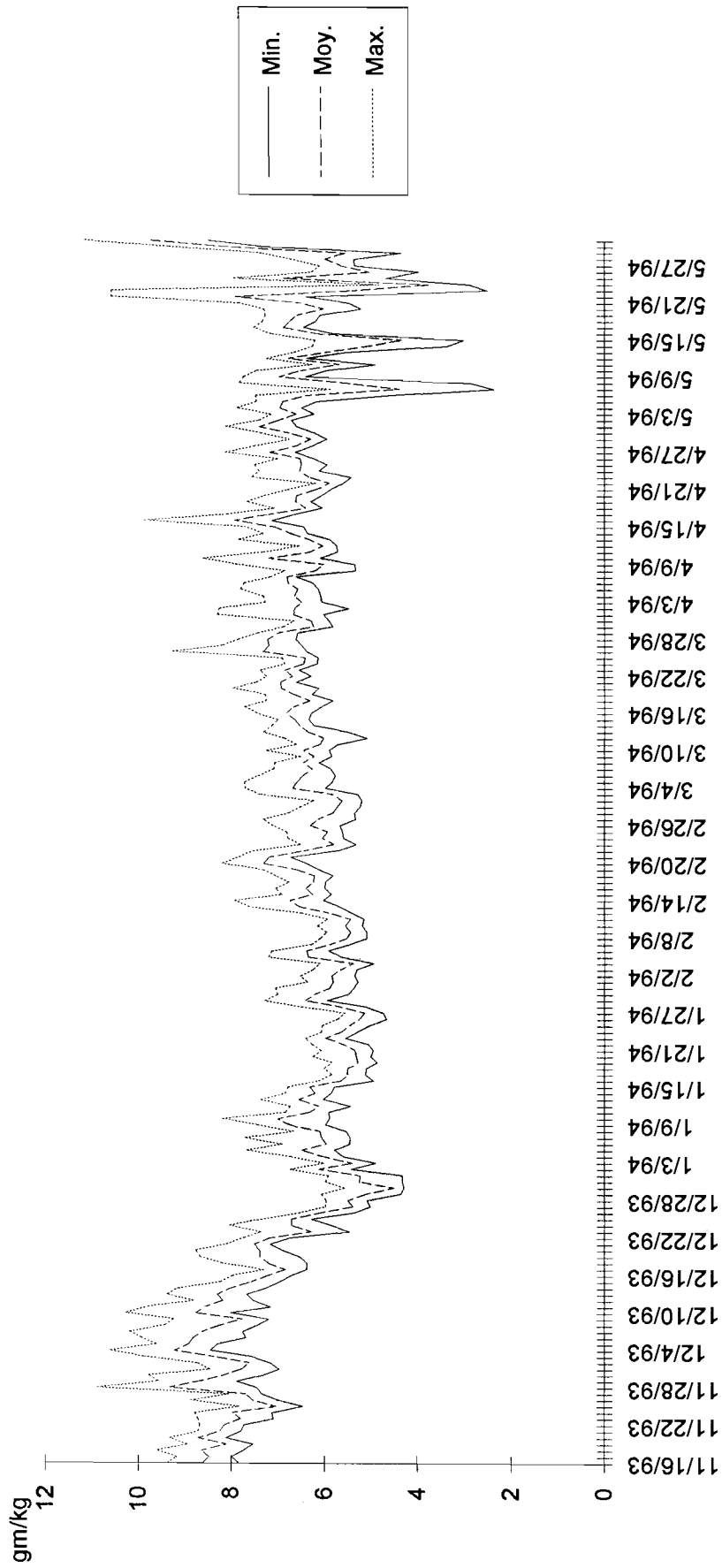


Figure 2.6.5.A Oscillation quotidienne de l'humidité absolue dans la maison No 8

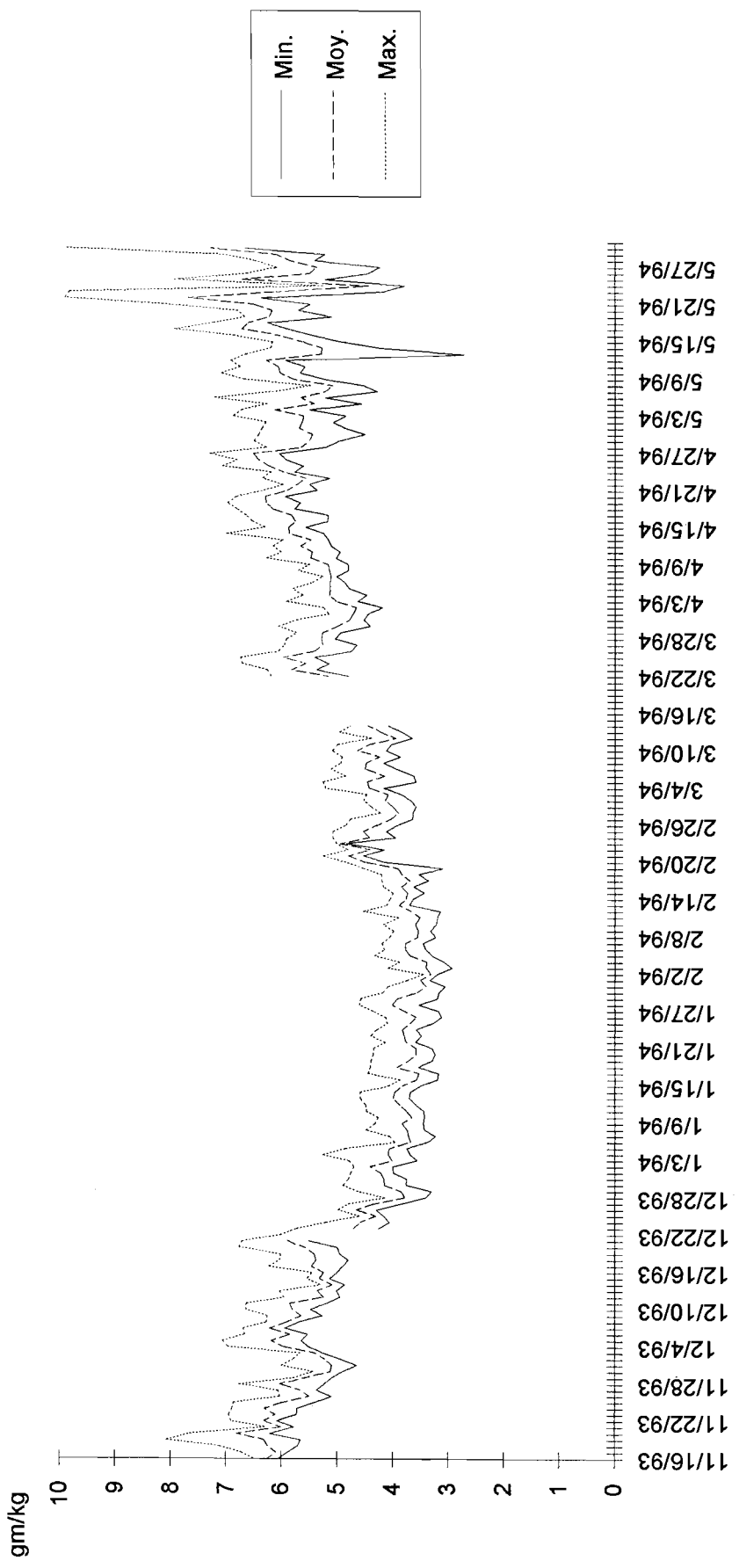
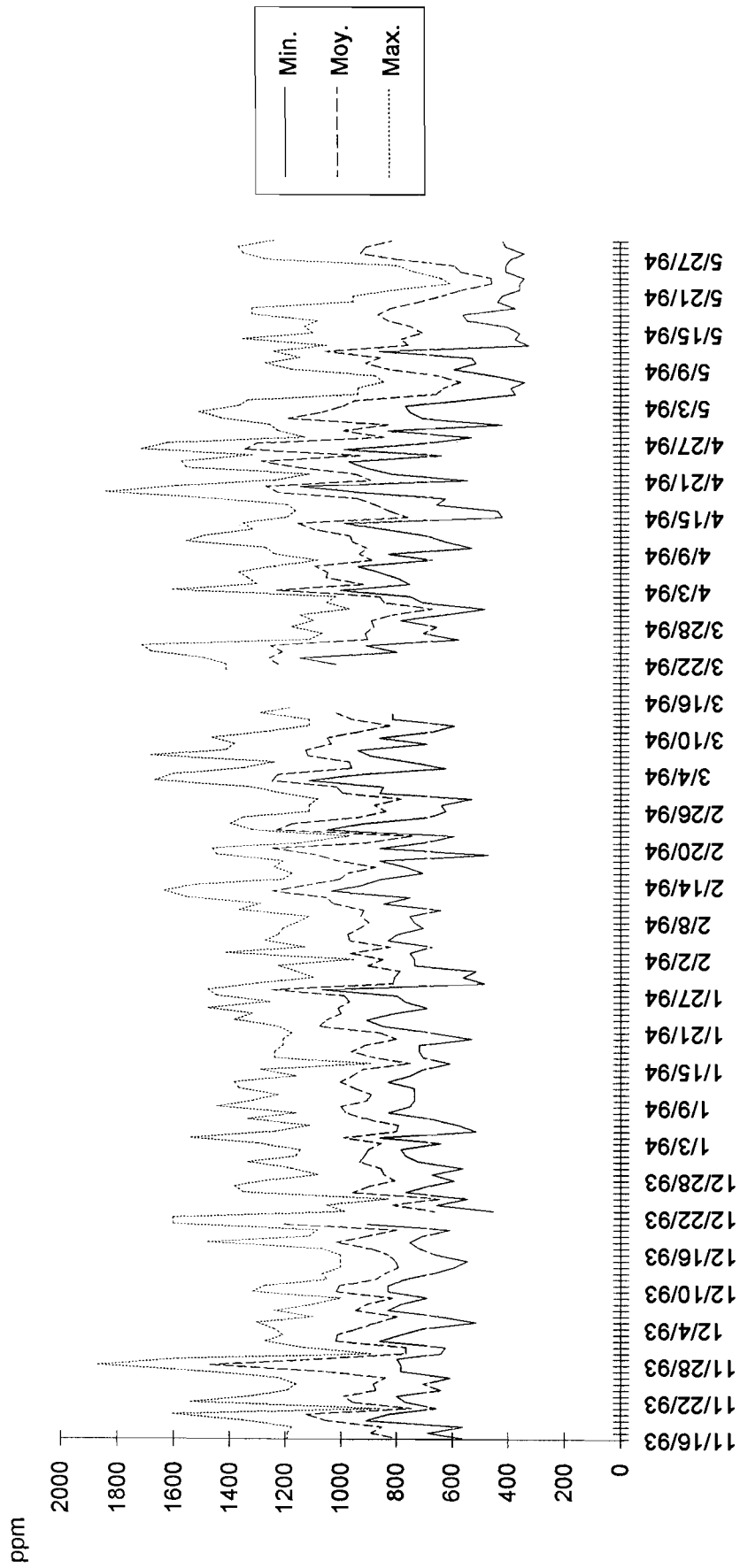


Figure 2.6.5.B Oscillation quotidienne du CO2 dans la maison No 8



pourra nécessiter plus de 9 L/s additionnels de ventilation parce qu'il s'agit d'une maison à cinq occupants.

L'évaluation de la quantité d'énergie requise afin d'offrir 9,4 L/s de ventilation jusqu'à la mi-décembre et d'offrir de façon continue 9,4 L/s de ventilation durant une grande partie de la saison de chauffage peut se calculer en se servant de la différence entre les températures intérieure et extérieure et de la chaleur spécifique de l'air. Ce calcul a été effectué en fonction d'une extraction de 9,4 L/s, en sous-entendant une température intérieure à 20°C et des températures extérieures correspondant aux températures enregistrées à Trois-Rivières au cours de la dernière saison de chauffage. Le tracé des résultats correspond aux pertes quotidiennes et aux pertes intégrées, comme le montrent les figures 2.7.1.A et 2.7.1.B respectivement. Dans le cas de taux de ventilation plus élevés ou plus faibles, on peut ajuster la réponse de façon proportionnelle. Comme le montrent les figures susmentionnées, la quantité d'énergie se rattachant à une ventilation additionnelle de 9,4 L/s correspond à 200 kWh environ au cours de l'automne et à environ 1 200 kWh pour toute la saison de chauffage. Il faut se souvenir qu'il s'agit ici de calculs se rapportant à des maisons étanches, dotées de systèmes de ventilation inadéquats. La section ci-après traite des maisons à taux de fuites plus élevé.

2.7.2 Maisons peu étanches

La ventilation naturelle des maisons peu étanches ou celles possédant des surfaces équivalentes de fuites mesurées à valeurs élevées peut s'avérer supérieure par rapport aux besoins de maintien de niveaux acceptables de qualité de l'air intérieur et de l'humidité d'intérieur. Par exemple, les maisons 20, 21 et 27 correspondent aux maisons les moins étanches, puisqu'elles présentent une valeur de renouvellement d'air à l'heure à 50 Pa de 9,96, 10,06 et 11,35 respectivement, en vertu de l'essai de dépressurisation, se reporter aux tableaux 2.1.A et 2.2.A. Le taux de ventilation naturelle observé dans chacune de ces maisons au cours d'une période d'une semaine pendant l'hiver correspondait respectivement à 114, 54 et 88 m³ à l'heure (ou à 32, 15 et 24,5 L/s). Toutes les autres maisons présentaient un taux de renouvellement d'air à 50% inférieur mais plusieurs taux de ventilation naturelle ont été mesurés à des valeurs supérieures aux maisons peu étanches, atteignant même 293 m

À certains moments, il se peut que les forces de ventilation naturelle dans les maisons peu étanches soient trop faibles pour assurer le maintien de la ventilation nécessaire. Des économies importantes d'énergie pourraient être réalisées en étanchéisant ces maisons et en réduisant les fuites d'air, mais le nombre de fois que la ventilation naturelle sera inadéquate par rapport aux besoins en air frais augmentera au fur et à mesure que la maison sera rendue plus étanche. La ventilation naturelle dépend énormément du vent et le fait d'étanchéiser à l'air les bâtiments à fuites très prononcées peut entraîner des économies d'énergie considérables. L'augmentation relativement faible de la ventilation qui pourrait s'avérer nécessaire afin de maintenir la qualité de l'air intérieur acceptable au cours de périodes calmes entraîne une dépense à appliquer contre les économies pouvant être réalisées par suite de l'étanchéisation des maisons. Il faut trouver le juste milieu entre les facteurs d'étanchéisation des maisons et d'ajout de la ventilation nécessaire, afin d'en tirer le meilleur avantage du point de vue économique.

2.8 Différence de pression au sous-sol

C'est par la transformation d'un signal analogique en une fréquence d'impulsions qu'il a été possible d'enregistrer la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur, afin de tirer avantage d'un canal d'enregistrement de réserve. Malheureusement, il y avait un problème de compatibilité entre le transformateur et l'enregistreur, problème qui n'a été découvert qu'à la fin de l'hiver, ce qui veut dire que la grande partie des données enregistrées au cours des périodes

Figure 2.7.1.A Pertes d'énergie quotidiennes, à 20 pi3 / min.

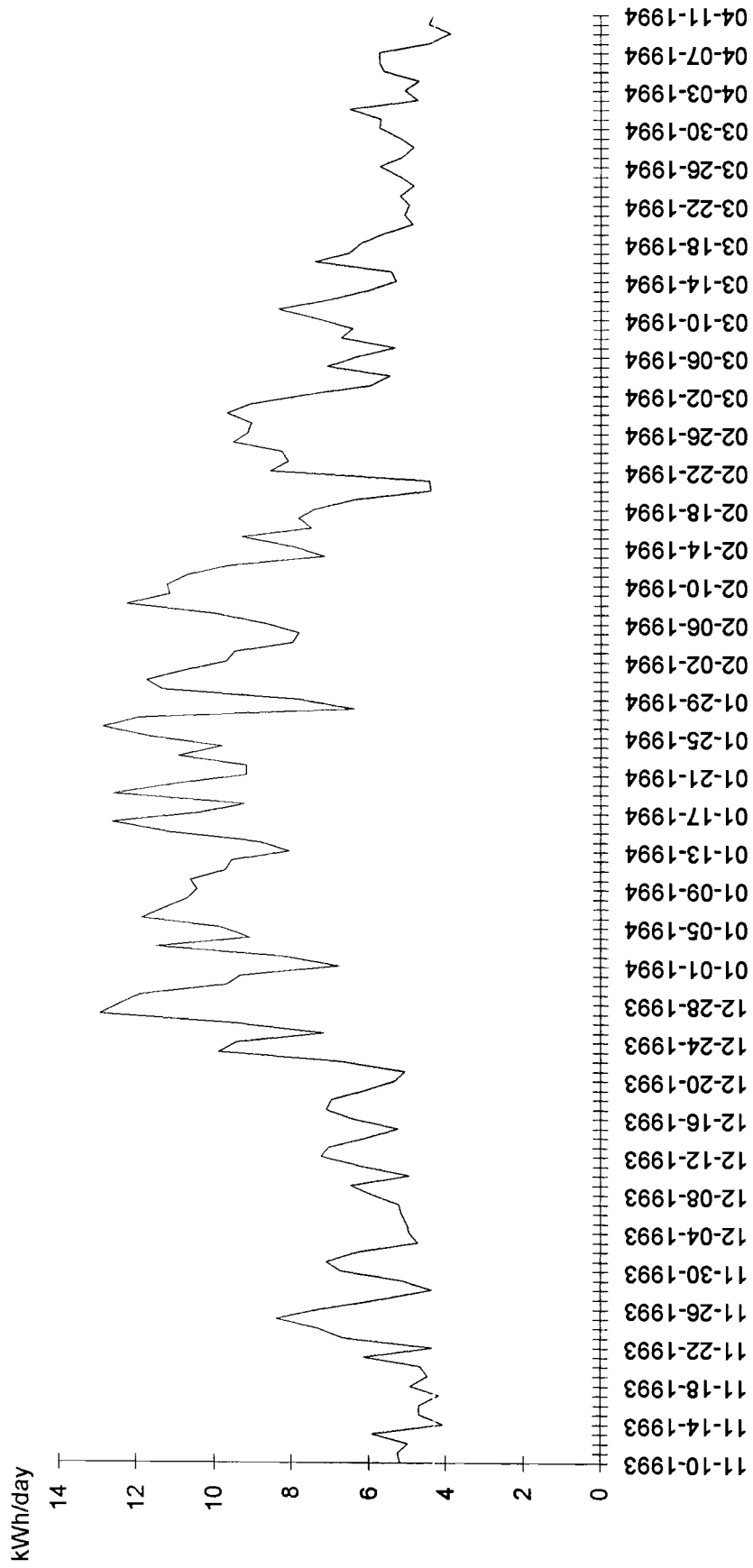
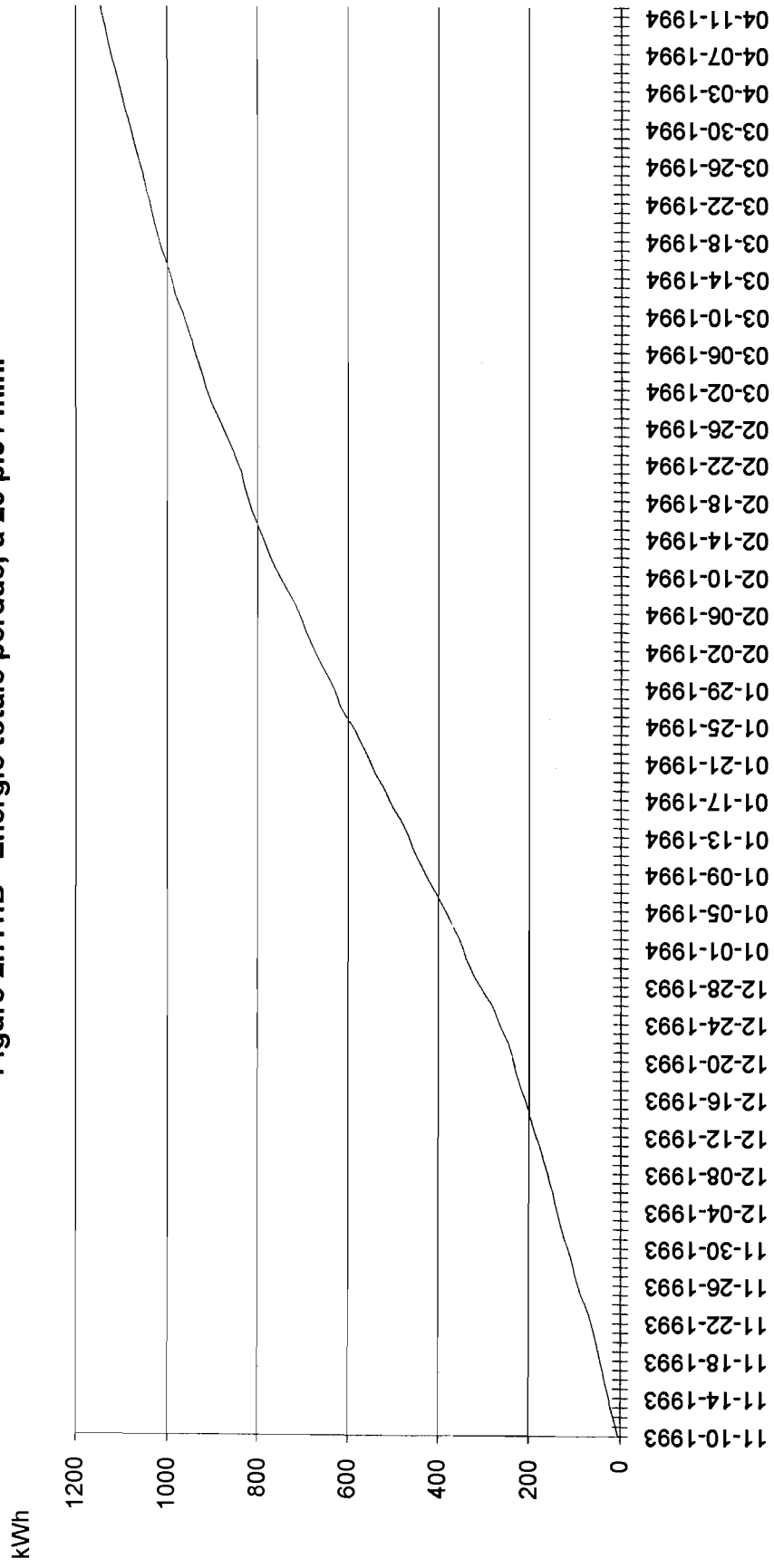


Figure 2.7.1.B Énergie totale perdue, à 20 pi3 / min.



de l'hiver où le vent soufflait à son plus fort correspondent à des données sur lesquelles l'on ne peut pas compter. Le problème a été corrigé et les données seront enregistrées au cours de l'automne.

3. Modèle de ventilation

Mis au point par la Société canadienne d'hypothèques et de logement, le modèle de ventilation AQ1 a été utilisé afin d'évaluer la ventilation naturelle au cours d'une période d'une semaine et de comparer les résultats obtenus aux taux de ventilation actuellement mesurés sur le terrain dans dix-huit des maisons au cours de la période d'essai de l'hiver 1993-1994. Lorsqu'une fois validée en fonction des besoins d'une maison particulière, le modèle de ventilation peut prédire le taux de ventilation et les niveaux de polluants sur une base horaire ou sur une moyenne mensuelle, le tout étant fondé sur les caractéristiques de fuites connues pour la maison, les renseignements de taux d'émission des polluants et les données atmosphériques. Le modèle permet de tenir compte de la présence et l'utilisation d'équipement de ventilation et d'appareils de combustion selon la connaissance de l'utilisation par l'utilisateur.

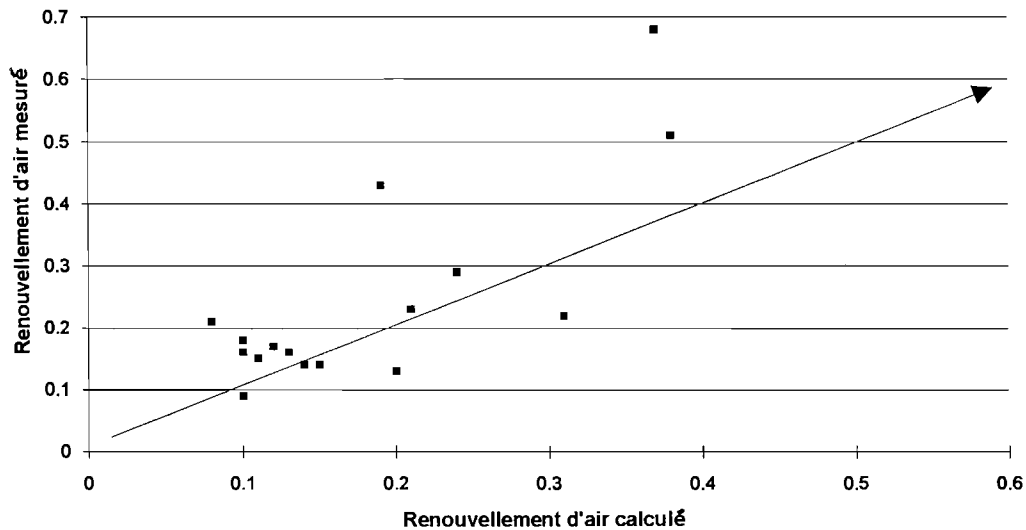
C'est à l'aide de la méthode du traceur PFT que l'on a éprouvé la fiabilité de ce modèle, en comparant les résultats de simulation aux taux de renouvellement d'air mesurés dans les maisons au cours de la période d'essai d'une semaine. Le tableau 3.A ci-après donne une vue sommaire des résultats du modèle. Se reporter à l'Annexe 5 afin de retrouver les résultats détaillés à ce sujet.

Tableau 3.A Ventilation naturelle mesurée et calculée

Maison numéro	Renouvellement d'air naturel mesuré, à l'heure (AC/h)	Renouvellement d'air calculé, à l'aide du modèle AQ1 (RA/h)
1	0,12	0,17
2	0,31	0,22
3	0,11	0,15
4	0,14	0,14
5	0,10	0,09
6	0,10	0,16
7	0,10	0,18
8	0,13	0,16
9	0,21	0,23
10	0,08	0,21
11	0,24	0,29
12	0,20	0,13
13	0,58	0,58
14	0,15	0,14
15	0,19	0,43
16	0,20	0,13
17	0,37	0,68
18	0,38	0,51

La figure 3.A présente ces résultats sous forme graphique. Le coefficient de corrélation (R^2) entre les renouvellements d'air mesuré et calculé correspondait à 0,65, et l'erreur-type du renouvellement d'air calculé était 0,1 changement d'air à l'heure.

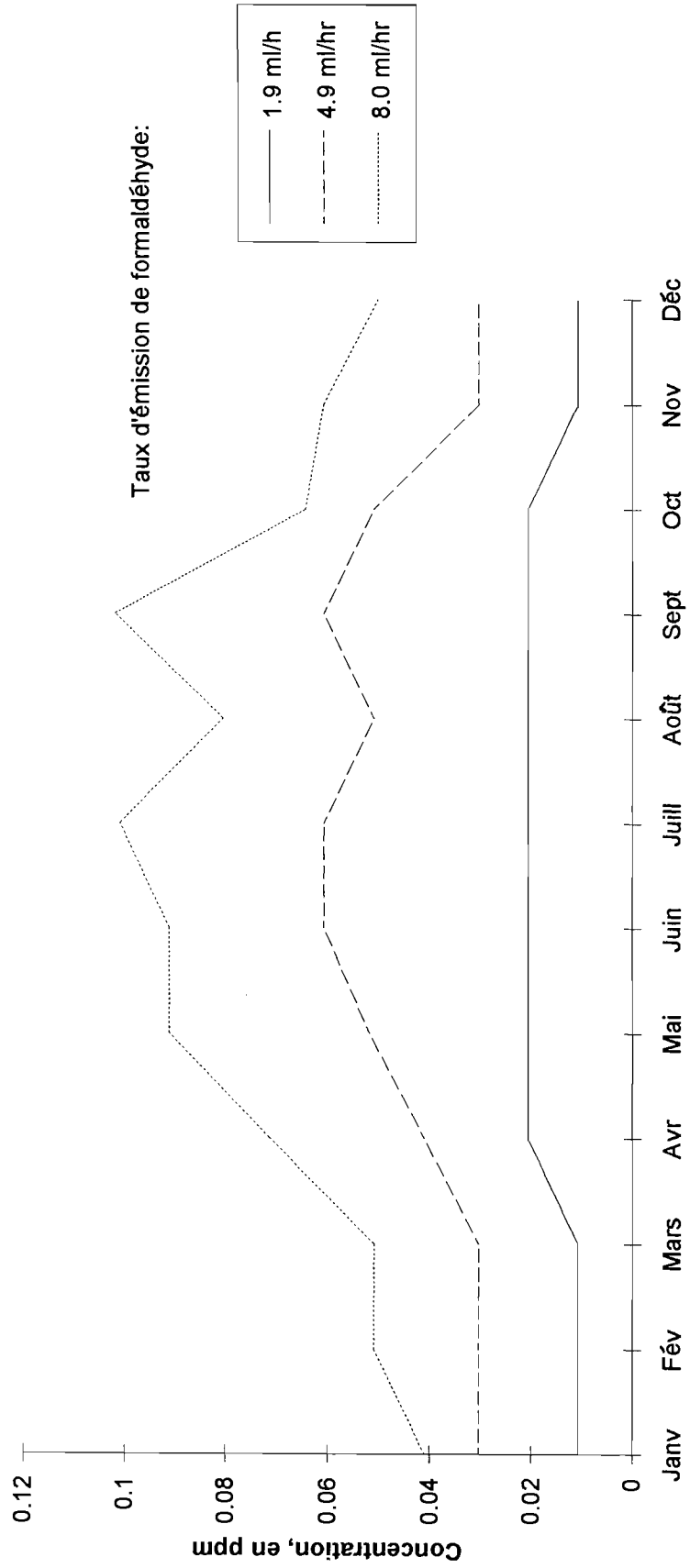
Figure 3.A Renouvellements d'air mesuré et calculé



C'est en utilisant trois différents taux d'émission de formaldéhyde couvrant la gamme de concentration de formaldéhyde retrouvé à l'intérieur des maisons à l'essai, et par l'utilisation de données atmosphériques sur Montréal que l'on a pu se servir du modèle AQ1 pour prédire le niveau moyen de formaldéhyde tout au long d'une année dans plusieurs maisons. Par exemple, utilisant le taux de renouvellement d'air mesuré dans la maison n° 9, il nous est possible de démontrer l'impact apporté par les différents taux d'émission des polluants. Se reporter à la figure 3.B. Si l'on prend le taux d'émission de formaldéhyde à son niveau le plus bas, soit à 1,9 ml/h, le niveau du formaldéhyde demeure en deçà de 0,02 ppm, ce qui est bien inférieur à la limite fixée par Santé Canada qui est de 0,1 ppm. Seulement durant les périodes où la ventilation est à son plus faible (au cours des mois de juillet et de septembre) et pour le cas où le taux d'émission se trouve à son plus haut niveau dans les 30 maisons (8 ml/h), le niveau prédit de formaldéhyde atteint la valeur de 0,1 ppm dans cette maison. En substituant cette dernière maison à la maison n° 14 qui est plus étanche et en optant pour le taux d'émission le plus élevé, les prédictions de ce modèle présentent un niveau nettement supérieur à 0,1 ppm au cours de la période entre les mois d'avril et de novembre. En sous-entendant un taux d'émission moyenne de 4,9 ml/h dans la même maison, le modèle prédit des concentrations à un niveau de 0,1 ppm entre les mois de juin et de septembre et des niveaux plus faibles au cours des saisons plus froides.

Le modèle s'avère utile aux fins de prédiction de périodes à concentration maximale de polluants et du nombre de maisons dans lesquelles les niveaux de polluants seront supérieurs aux niveaux acceptables si elles sont assujetties à un niveau spécifique d'étanchéisation.

Figure 3.B Concentrations projetées de formaldéhyde dans la maison no 1, à Montréal, en ppm



4. Résumé

Toute relation entre l'étanchéité mesurée d'une maison (RA/h_{50}) à 50 Pa et la ventilation naturelle est perturbée par les conditions atmosphériques et le mode de vie des occupants. Selon certaines conditions, il a été constaté que tous les bâtiments sans ventilation de type forcé sont assujettis à des périodes où la ventilation est très faible. Au cours de ces périodes, le volume d'air à l'intérieur du bâtiment devient très important du fait que la diffusion et le mouvement de l'air entre les zones constituent les seuls moyens de dilution efficace des polluants au cours de ces périodes à faible ventilation naturelle.

La qualité de l'air intérieur est plus facile à déterminer si l'on se sert du taux de ventilation en L/s puisqu'il constitue une quantité plus significative que le renouvellement d'air à l'heure, selon la formule RA/h. Cet énoncé est encore plus vrai aux fins d'évaluation de la ventilation à l'intérieur d'une salle ou d'une zone. Par exemple, 14 L/s dans une chambre à coucher à format standard de 27 m^3 représente environ 1,9 RA/h, mais ne correspond qu'à 0,11 RA/h pour une maison de 453 m^3 .

Chaque maison est assujettie à une grande gamme du taux de ventilation allant d'une valeur pratiquement nulle (zéro) par temps calme et chaud à une valeur maximale par temps froid et venteux, surtout lorsque peuvent fonctionner des appareils de combustion comme les foyers ou des équipements de ventilation d'extraction. Le fait d'ouvrir des fenêtres sur une base régulière, de faire fonctionner un foyer ou un poêle à bois sur une base régulière ou de mettre en circuit des appareils ménagers dotés de mécanismes de ventilation comme des ventilateurs d'extraction et des sècheuses accroît considérablement la ventilation naturelle qui se fait ordinairement à l'emplacement des fissures et des fuites dans les travaux d'ossature.

L'étanchéisation efficace à l'air tend à réduire la ventilation naturelle au cours des périodes froides et venteuses et aussi par temps calme et plus clément. Pour fins de santé et de confort, il se peut que l'on ait à prévoir une ventilation additionnelle au cours de ces périodes calmes et plus clémentes. Des économies nettes en énergie seront réalisées une fois les fissures et fuites obturées seulement si l'ensemble des économies réalisées par suite de la diminution des fuites d'air (particulièrement par temps froid et venteux) dépassent la consommation d'énergie additionnelle qui est requise afin d'assurer la ventilation adéquate du bâtiment au cours de périodes calmes et plus clémentes.

Puisque les niveaux de pollution d'intérieur sont déterminés par le taux d'émission des polluants et par le taux de ventilation naturelle, il nous est maintenant possible de regrouper tous les facteurs nécessaires afin de spécifier les mesures correctives à prendre dans chaque maison ou les mesures préventives dans le cas d'une maison où les travaux d'étanchéité doivent être entrepris.

Sources importantes de polluants :

CO ₂ :	l'occupation des personnes et des animaux familiers (personne-heures par jour) la fumée de cigarettes la fabrication de bière et de vin l'emploi de chandelles
Particules :	la fumée de cigarettes les foyers

Formaldéhyde : les nouvelles constructions
les tapis
la fumée de cigarettes

Facteurs importants qui déterminent la quantité de ventilation dans les maisons :

Ventilation naturelle : étanchéité à l'air des maisons
exposition du bâtiment au vent
ouvertures de fenêtres
fermeture des portes de chambres à coucher
utilisation du foyer et du poêle à bois
utilisation d'une turbine de ventilation

Ventilation mécanique : utilisation d'échangeurs d'air
utilisation considérable de ventilateurs d'extraction
utilisation d'une sècheuse à linge dotée d'un système
d'extraction vers l'extérieur

Autres facteurs qui peuvent influencer la quantité de ventilation requise :

problèmes de condensation à l'automne
sous-sol humide ou mouillé
puisard à l'état ouvert au sous-sol, pouvant entraîner un
problème de radon
nombre d'occupants
activités (utilisation de solvants, passe-temps, etc.)

Facteurs de complication

La ventilation et les habitudes de vie varient d'une famille à l'autre. Le nombre d'occupants dans une maison peut changer avec le temps. Les familles grandissent et la fermeture des portes de chambres à coucher peut devenir plus fréquente au fur et à mesure que les enfants grandissent et qu'ils veulent se retirer davantage dans leurs chambres.

Niveau moyen de pollution à l'intérieur des maisons au Québec

Même si les maisons choisies aux fins d'essai sur le terrain présentent une distribution de caractéristiques de fuites de RAH₅₀ semblable à ce qui a été observé lors de l'essai sur le terrain Éval-Iso, on ne peut conclure que la distribution des taux d'émission des différents polluants d'intérieur sont aussi représentatifs des maisons au Québec. Une comparaison entre les données de taux d'émission des polluants au Québec et en Ontario indique que les maisons ontariennes présentent des taux d'émission à valeur plus élevée que celle de notre échantillon.

5. Conclusions

1. La corrélation entre l'étanchéité à l'air mesurée des maisons (RAH_{50}) et la ventilation naturelle dans les maisons est très vague et soumise à l'influence de plusieurs autres facteurs, dont certains se rattachent au bâtiment proprement dit (emplacement des fuites, quantification des abris, hauteur du bâtiment, etc.) et d'autres, aux occupants (utilisation du foyer, ouverture des fenêtres, utilisation de l'équipement de ventilation, etc.).
2. La ventilation naturelle dans les maisons est affectée par plusieurs facteurs, y compris l'emploi des foyers et des poêles à bois, l'ouverture des fenêtres et l'utilisation d'équipement de ventilation comme les turbines, les échangeurs d'air et les ventilateurs d'extraction. La ventilation quotidienne moyenne des maisons varie considérablement, compte tenu des facteurs externes et internes. Les distributions évaluées indiquent que toutes les maisons sont soumises à des périodes où la ventilation naturelle est très faible, durant lesquelles les niveaux de polluants peuvent s'approcher des limites fixées par Santé Canada ou les dépasser, relativement aux concentrations de PRS, de formaldéhyde et de CO_2 à l'occasion.
3. Les exigences de ventilation des maisons au Québec dépendent du taux d'émission des polluants retrouvés dans chaque maison (y compris les PRS, le formaldéhyde et le bioxyde de carbone) et de la quantité minimale de ventilation naturelle. Certains polluants sont produits par les occupants et leurs activités alors que d'autres se dégagent des matériaux dans la maison.
4. Les niveaux de bioxyde de carbone dépendent directement de l'occupation de la maison en personne-heures, ainsi que de l'emploi de chandelles. L'augmentation des niveaux de CO_2 et d'humidité localement s'accroît à la fermeture d'une porte de chambre ou de salle occupée.
5. Dans la plupart des maisons instrumentées au cours de la saison de chauffage, la ventilation naturelle s'avère inadéquate par temps clément au maintien de niveaux de polluants à l'intérieur en deçà des limites recommandées. Au cours de la partie la plus froide de la saison, la ventilation naturelle s'avère adéquate dans la moitié des maisons environ. Les principaux facteurs déterminants peuvent s'énumérer comme suit : le taux d'émission des polluants, les caractéristiques de fuites dans les bâtiments, l'exploitation de foyers et d'équipement d'extraction et l'ouverture de fenêtres.
6. En se servant des mesures de taux d'émission des polluants qui ont été prélevées sur place et des limites ou niveaux fixés par Santé Canada, la ventilation requise dans les maisons d'échantillonnage peut se quantifier comme suit :

Polluant	Plage de ventilation, en L/s
PRS	De 3 à 53
Formaldéhyde	De 9 à 50
Humidité	À compter de la valeur 12 au moins, en sous-entendant qu'il s'agit d'air sec.
Bioxyde de carbone (1 000 ppm)	De 6 à 47
Bioxyde de carbone (3 500 ppm)	De 1 à 10

Les autres polluants comme le radon et les COV nécessitent moins de ventilation, sauf s'il s'agit d'une source locale de polluant à valeur inhabituellement élevée.

7. Même si l'emploi de poêles à bois et de foyers accroît la quantité de ventilation dans les maisons, ces appareils peuvent, dans certains cas, accroître les niveaux de particules dans l'air intérieur. Les produits de combustion qui se dégagent dans les zones habitées par suite de contre-courants (insertion du bois de chauffage dans les poêles, cheminée à basse température, exploitation de ventilateurs d'extraction puissants, etc.) viennent s'ajouter à d'autres sources de PRS comme la consommation de cigarettes, par exemple. L'effet net correspond à des niveaux élevés de PRS dans certaines maisons où les appareils de combustion au bois sont utilisés.