



**INDOOR AIR QUALITY AND
VENTILATION RATES IN R-2000 HOUSES**

Final Report

PREPARED FOR:

Energy Efficiency Division
Residential Program
Energy Technology Branch/CANMET
Department of Natural Resources Canada
Ottawa, Ontario
Call-up No. 23440-95-1037
September, 1995

PREPARED BY:

John Gusdorf and Tom Hamlin
Buildings Group
Department of Natural Resources/CANMET

SCIENTIFIC AUTHORITY:

Tom Hamlin
Buildings Group
Energy Efficiency Division
Energy Technology Branch/CANMET
Department of Natural Resources Canada
580 Booth Street
Ottawa, Ontario
K1A 0E4

CITATION

Tom Hamlin and John Gusdorf, Buildings Group, Residential Programs, Energy Technology Branch, *Indoor Air Quality and Ventilation Rates in R-2000 Houses*. Call-up No. 23440-95-1037. Energy Technology Branch, CANMET, Department of Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, 1995, (43 pages).

Copies of this report may be obtained through the following:

Energy Technology Branch, CANMET
Department of Natural Resources Canada
580 Booth Street, 7th Floor
Ottawa, Ontario
K1A 0E4

or

Intellectual Property and Technical Information Management (IPTIM)
Library and Documentation Services Division, CANMET
Department of Natural Resources Canada
555 Booth Street, 3rd Floor, Room 341
Ottawa, Ontario
K1A 0G1

DISCLAIMER

This report is distributed for information purposes only and does not necessarily reflect the views of the Government of Canada nor constitute an endorsement of any commercial product or person. Neither Canada nor its ministers, officers, employees or agents make any warranty in respect to this report or assume any liability arising out of this report.

NOTE

Funding for this project was provided by the Government of Canada under the Green Plan, the Federal Panel on Energy Research and Development and the Department of Natural Resources Canada.

TABLE OF CONTENTS

	<u>Page</u>
Executive Summary.....	1
Résumé.....	5
Introduction.....	9
Sources of Data.....	9
Ventilation Rates.....	11
Formaldehyde (HCHO).....	12
Total Volatile Organic Compounds (TVOCs).....	16
Carbon Dioxide (CO ₂).....	18
Relative Humidity.....	24
Conclusions and Recommendations.....	29
APPENDICES	
Appendix 1.....	31
Appendix 11.....	34
References.....	42

EXECUTIVE SUMMARY

Industry experience suggests that reducing the standard for ventilation rates would allow R-2000 energy targets to be met more cost effectively. Reduced ventilation rates would lower ventilation heat losses, which in turn would allow the use of lower-cost heat recovery ventilators (HRVs). Many R-2000 houses are operated at ventilation rates well below the standard; thus, lowering the requirements would simply be acknowledging what many R-2000 occupants are doing anyway. However, decreasing ventilation rates will affect indoor air quality (IAQ).

The current standard for ventilation, CSA F326 Residential Mechanical Ventilation Systems, requires a certain number of litres per second of fresh air for each type of room in a house. In R-2000 houses, this air is brought through an HRV, so the HRV installed each house must have the capacity to meet that flow rate when run at its high speed. It is not proposed that the capacity of HRVs be reduced, but that R-2000 houses could be certified if they pass their energy consumption targets with seventy-five percent the F326 standard flow rate, i.e., with the HRV set to a lower speed. This report examines the IAQ implications of reducing the "R-2000 design ventilation rates" to seventy-five percent of the F326 standard. Specifically, it asks whether such reductions would affect the requirement that R-2000 houses have better IAQ than the average Canadian house.

The investigation begins by examining several recent studies on IAQ in Canadian houses, and producing distributions of the source strengths of substances which affect IAQ. The substances investigated are total volatile organic compounds (TVOCs), formaldehyde (HCHO), carbon dioxide (CO₂), and water vapour (RH). The fiftieth and ninetieth percentile source strengths are then used to predict IAQ in forty-seven new R-2000 houses at various ventilation rates. The fiftieth percentile, or median, is used to predict IAQ in average houses, while the ninetieth percentile indicates the potential for health and comfort problems in the one-in-ten worst houses.

IAQ predictions are based on total ventilation rates which include both mechanical and natural ventilation. The HOT2000 program is used to predict total ventilation based on the measured airtightness of each house, and four mechanical ventilation rates. The mechanical rates include the F326 capacity, the actual rate for each house, a rate reduced by the average actual-to-standard ratio, and the new proposed rate. Actual (measured) mechanical ventilation rates in the forty-seven R-2000 houses range from 25% to 128% of the F326 capacity. Regional averages vary from 59% in Ontario to 80% in Atlantic Canada. The average for all forty-seven R-2000 houses is 70% of the F326 capacity, which is very close to the proposed rate.

For each IAQ substance, the two source strengths are combined with the four total ventilation rates to produce eight potential concentrations for each of the forty-seven R-2000 houses. These concentrations are compared with the averages from this study, and with existing guidelines. In the case of formaldehyde (HCHO), the Health Canada "Target Level" is 0.05 ppm which is almost identical to the average level, and the "Action Level" is 0.10 ppm. The data indicate that reducing ventilation rates from F326 to the proposed rate would increase the percentage of houses exceeding the target (average) level for formaldehyde from 1.7% to 4.7%. None would exceed the action level at either ventilation rate. Thus, the conclusion is that reduced ventilation rates will result in a small increase in formaldehyde pollution, but if reduced ventilation is combined with reduced sources of HCHO, then actual HCHO concentrations should decrease.

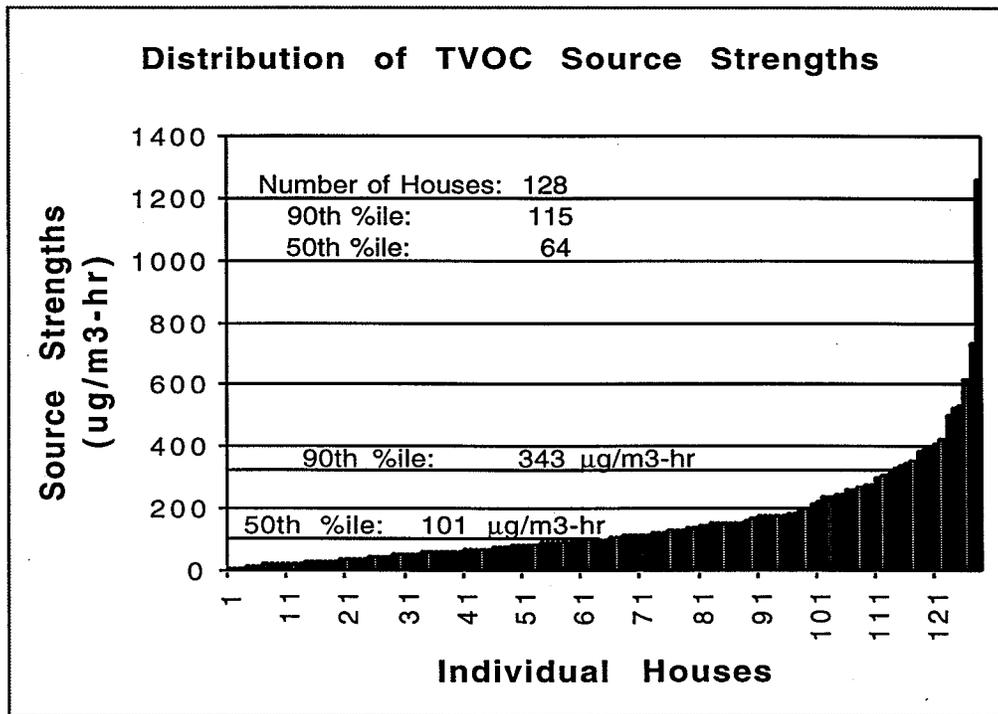


Figure S-1. Distribution of TVOCs Source Strengths with 90th and 50th Percentiles.

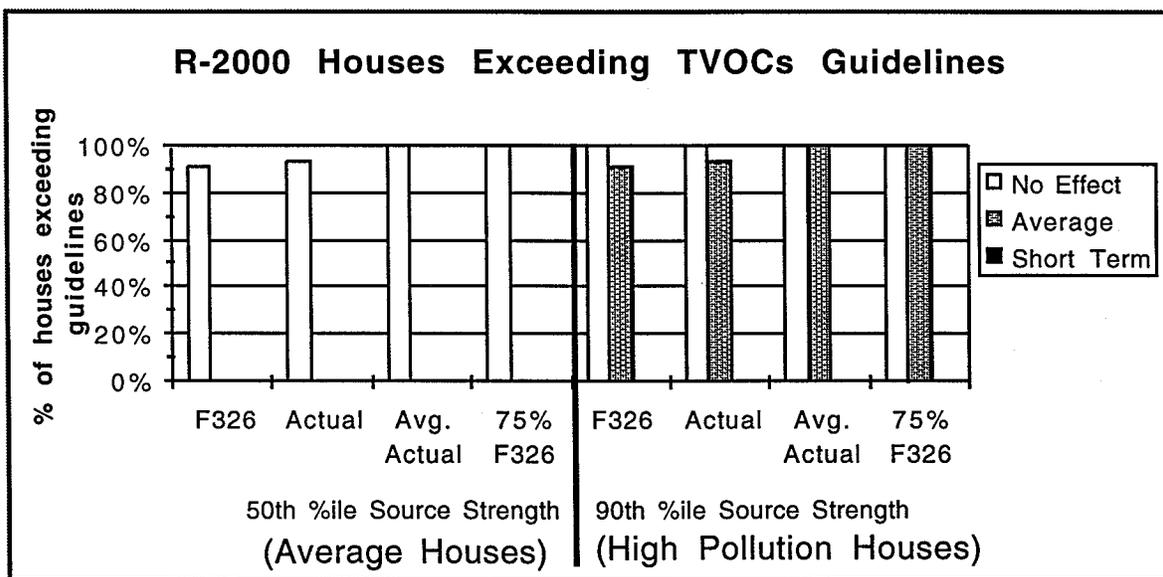


Figure S-2. Houses which exceed the Guidelines for TVOCs by Source Strengths and Total Ventilation Rates.

IAQ & Ventilation Rates in R-2000 Houses: Executive Summary

TVOCs are the IAQ factor most likely to cause problems if ventilation rates are reduced. The “No Effect” level for TVOCs is 200 micrograms per cubic meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), the average is 585 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and the “Short Term” level is 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Figure S-1 shows the distribution of TVOCs source strengths, and Figure S-2 displays the results of combining the fiftieth and ninetieth percentile source strengths with the four ventilation rates for each of the forty-seven R-2000 houses. Ninety-one percent of the houses exceed the no-effect guideline even when the average source strength is combined with the highest ventilation rate. As ventilation rates are decreased, the number of houses exceeding the no-effect guideline rises to 100%.

At the higher source strength, all of the houses exceed the no-effect guideline with all ventilation rates, and 91% exceed the level of the average house with the F326 ventilation rates. (This indicates that around 9% of all R-2000 houses would have more TVOCs than the average house). As ventilation rates are lowered, all ninetieth percentile houses exceed both the no-effect guideline and average house level. Thus, the number of houses exceeding the guidelines increases significantly as the ventilation rates are decreased. With the ninetieth percentile and 75% of the F326 capacity, 32% of the houses have concentrations of over 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and one has over 1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In no case is the short-term guideline exceeded, but these levels of TVOCs could be high enough to cause additional occupant irritation and discomfort, and possible health effects. For this reason, we strongly recommend that decreases in the R-2000 design rate for mechanical ventilation be coupled with the elimination of materials with high VOC emissions.

For carbon dioxide (CO_2) the average indoor level is 748 ppm. The “Discomfort Level” is 1000 ppm, and the “Long-Term Limit” is 3500 ppm. The results of combining source strengths and ventilation rates indicate that CO_2 is not likely to be a serious problem in R-2000 houses, even with reduced ventilation rates. However, the source strengths are based on average CO_2 concentrations during a week of monitoring. CO_2 generation varies greatly, depending on the number of people in a given area of the house and their activity level. Simple models of bedrooms with both direct-ducted and recirculating fresh air supplies indicate that the Discomfort Level would be exceeded at the proposed R-2000 design ventilation rate. Thus, we recommend that reduced ventilation rates be combined with more careful balancing so that flows to bedrooms are maintained at the current F326 levels. This is more critical for direct-ducted houses, but should also be done in those with recirculating supplies.

Health Canada recommends that relative humidity (RH) be kept between 30% and 55% during the heating season. The results indicate that reducing the R-2000 design ventilation rate will not have a significant effect on RH levels in R-2000 houses. The percentage of houses in which either RH limit would be affected by ventilation rates is very small. More importantly, occupants would still have the capacity and control to deal with damp or dry conditions in their homes. Thus, the question of whether to reduce the R-2000 design ventilation rate should be decided on the basis of the other IAQ factors.

Based on the above results, our recommendation is to accept the proposed reduction in ventilation rates as part of an optional package. This would allow R-2000 houses to be built either to current standards, or to the new standards which would include *all* of the following:

1. The capacity of the mechanical ventilation systems in R-2000 houses shall be maintained at the current F326 standard.

IAQ & Ventilation Rates in R-2000 Houses: Executive Summary

2. The mechanical ventilation rate at which R-2000 houses can be certified to meet their energy targets may be reduced to seventy-five percent (75%) of the current F326 standard, but no lower.
3. Additional restrictions shall be placed on the construction materials allowed within the air, or air/vapour, barrier of the houses. These restrictions shall include all (rather than two) of the options in the current "environmental pick list", and the following additions to that list:
 - (i) Carpeting (except as noted) shall be labelled under the Carpet and Rug Institute's program.
 - (vii) Homogeneous vinyl flooring shall not be used. Linoleum or composite type vinyl tiles can be used.
 - (viii) Particle board flooring underlayment shall not be used unless all exposed surfaces are sealed with an Environmental Choice water based sealer or another low toxicity sealer.
4. Air flows to bedrooms shall be more carefully balanced, and maintained at the current F326 levels.
5. An extensive monitoring program is to be undertaken to determine the IAQ of a number of houses built in accordance with the reduced ventilation package. This program would include tests of IAQ and air change rates, and emissions tests of various materials used in the houses, at construction, occupancy and six months after occupancy.

High indoor air quality is an essential part of the R-2000 program. We believe that the proposed package would maintain or improve IAQ in R-2000 houses while allowing them to meet their energy targets more cost-effectively. The monitoring program would provide information which would allow further improvements in future standards.

QAI ET TAUX DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR DES MAISONS R-2000

RÉSUMÉ

L'expérience acquise dans l'industrie tend à démontrer qu'avec la réduction de la norme sur les taux de renouvellement de l'air il serait possible d'atteindre les objectifs énergétiques du Programme de la maison R-2000 avec un meilleur rapport coût-efficacité. Une telle réduction diminuerait les pertes thermiques dues à la ventilation, ce qui rendrait possible l'utilisation de ventilateurs-récupérateurs de chaleur moins coûteux. Dans beaucoup de Maisons R-2000, les taux de renouvellement d'air sont bien au-dessous de la norme; l'abaissement des exigences ne ferait donc que coïncider avec ce que font de nombreux occupants des Maisons R-2000 de toute façon. La réduction des taux de renouvellement d'air aurait cependant des effets sur la qualité de l'air à l'intérieur des habitations (QAI).

La norme de renouvellement de l'air actuellement en vigueur, soit la CSA F326, Ventilation mécanique des habitations, exige un certain nombre de litres d'air frais par seconde pour chaque genre de pièce de maison. Dans les Maisons R-2000, cet air est amené au moyen d'un ventilateur-récupérateur de chaleur; dans chacune des maisons, cet appareil doit donc avoir la capacité d'assurer ce débit lorsqu'il tourne à grande vitesse. On ne propose pas de réduire la puissance des ventilateurs-récupérateurs, mais plutôt d'homologuer les Maisons R-2000 qui atteignent leurs objectifs de consommation d'énergie avec un débit équivalent à soixante-quinze pour cent de la norme F326, c'est-à-dire avec un ventilateur-récupérateur réglé à une vitesse inférieure. Le présent rapport présente l'analyse des effets sur la QAI de la réduction des taux de renouvellement de l'air des habitations de modèle R-2000 à soixante-quinze pour cent de la norme F326. De façon plus précise, il traite des effets possibles de telles réductions au regard de l'exigence selon laquelle une Maison R-2000 doit avoir une meilleure QAI que la maison canadienne moyenne.

La recherche débute par une analyse de plusieurs études récentes sur la QAI dans les maisons canadiennes et par la production de tableaux de distribution des concentrations-sources des substances qui ont des effets sur la QAI. Les substances sur lesquelles a porté la recherche sont les composés organiques volatils totaux (COVT), le formaldéhyde (HCHO), le dioxyde de carbone (CO₂) et la vapeur d'eau (HR). Nous nous servons alors des concentrations-sources des 50^e et 90^e percentiles pour faire des prévisions sur la QAI dans quarante-sept maisons R-2000 neuves, à divers taux de renouvellement d'air. Le 50^e percentile, qui est aussi la médiane, sert à prédire la QAI dans les maisons moyennes, tandis que le 90^e percentile sert à indiquer les problèmes éventuels de santé et d'inconfort dans l'une des dix pires maisons.

Les prévisions concernant la QAI sont fondées sur les taux globaux de ventilation comprenant la ventilation mécanique et la ventilation naturelle. Nous nous servons du programme Hot-2000 pour prédire la ventilation totale en nous fondant sur l'étanchéité mesurée de chaque maison et sur quatre taux de ventilation mécanique. Ces derniers taux comprennent la capacité définie dans la norme F326, le taux réel de chacune des maisons, un taux réduit calculé à partir du rapport moyen taux réel-norme, et le nouveau taux proposé. Les taux réels (mesurés) de ventilation mécanique dans les quarante-sept Maisons R-2000 varient de 25 à 128 % de la capacité définie dans la norme F326. Les moyennes régionales varient de 59 % en Ontario à 80 % dans les provinces de l'Atlantique. Pour l'ensemble des quarante-sept Maisons R-2000, la moyenne est de 70 % de la capacité établie dans la norme F326, ce qui est très près du taux proposé.

Pour chacune des substances déterminant la QAI, les concentrations-sources des deux percentiles sont combinées aux quatre taux globaux de renouvellement de l'air de façon à obtenir huit concentrations possibles pour chacune des quarante-sept Maisons R-2000. Ces concentrations sont ensuite comparées aux moyennes obtenues dans cette étude et avec les lignes directrices en vigueur. Dans le cas du formaldéhyde (HCHO), le niveau visé par Santé Canada est de 0,05 mg/l, ce qui est presque identique au niveau moyen, et le niveau d'intervention est de 0,10 mg/l. Les données indiquent qu'une diminution des taux de renouvellement de l'air définis dans la norme F326 pour les

QAI ET TAUX DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR DES MAISONS R-2000 -RÉSUMÉ

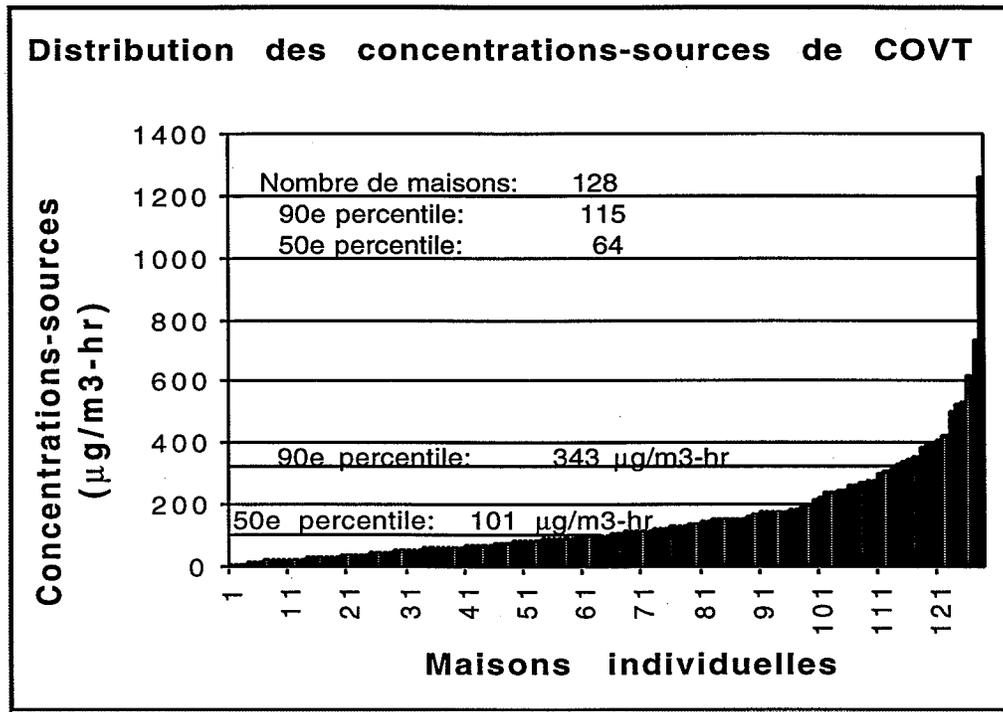


Figure S-1. Distribution des concentrations-sources de COVT avec les 90^e et 50^e percentiles.

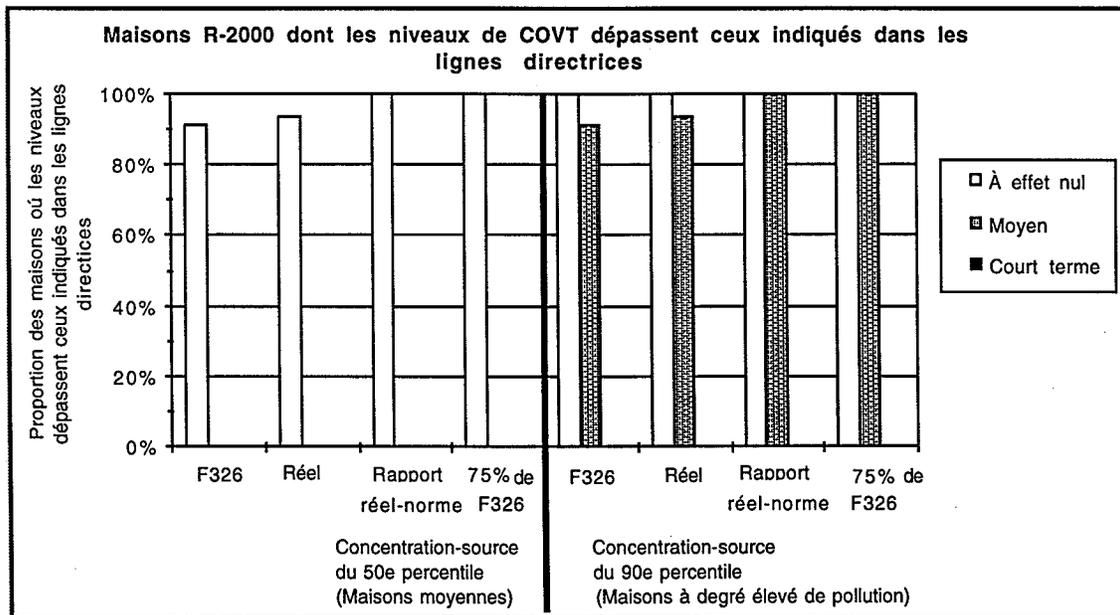


Figure S-2. Maisons dont les niveaux de COVT dépassent ceux indiqués dans les lignes directrices, par concentrations-sources et taux globaux de renouvellement de l'air.

QAI ET TAUX DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR DES MAISONS R-2000 -RÉSUMÉ

ramener aux niveaux proposés augmenterait de 1,7 à 4,7 % la proportion des maisons où le niveau visé (moyen) pour le formaldéhyde serait dépassé. Aucune ne dépasserait le niveau d'intervention, quel que soit le taux de renouvellement de l'air. Nous en concluons donc qu'une réduction des taux de renouvellement de l'air produirait une légère augmentation de la pollution par le formaldéhyde, mais, si elle est combinée à une réduction des sources de HCHO, les concentrations réelles de HCHO devraient alors diminuer.

Ce sont les COVT qui sont les plus susceptibles de causer des problèmes de QAI avec une réduction des taux de renouvellement de l'air. Le niveau à «effet nul» pour les COVT est de 200 microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), la moyenne se situant à $585 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le niveau «court terme» étant de $3\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La figure S-1 donne la distribution des concentrations-sources des COVT, tandis que la figure S-2 montre les résultats de la mise en rapport des concentrations-sources des 50^e et 90^e percentiles avec les quatre taux de renouvellement de l'air pour l'ensemble des quarante-sept Maisons R-2000. Quatre-vingt-onze pour cent des maisons dépassent le niveau à effet nul défini dans les lignes directrices, même dans les cas où la concentration-source moyenne est combinée au taux de renouvellement de l'air le plus élevé. Lorsque l'on diminue le taux de renouvellement de l'air, la proportion des maisons où le niveau à effet nul défini dans les lignes directrices est dépassé atteint 100 %.

À la plus forte concentration-source, le niveau à effet nul est dépassé dans toutes les maisons et ce, pour tous les taux de renouvellement de l'air, tandis que le niveau de la maison moyenne est dépassé dans 91 % des cas avec les taux de renouvellement de l'air de la norme F326. (Ceci montre qu'environ 9 % de l'ensemble des Maisons R-2000 auraient plus de COVT que la maison moyenne). Lorsque l'on abaisse le taux de renouvellement de l'air, toutes les maisons du 90^e percentile dépassent à la fois le niveau à effet nul des lignes directrices et le niveau de la maison moyenne. Ainsi, le nombre de maisons où les COVT dépassent les niveaux définis dans les lignes directrices augmente de manière significative avec la réduction des taux de renouvellement de l'air. Avec le 90^e percentile et 75 % de la capacité définie dans la norme F326, 32 % des maisons montrent des concentrations de plus de $1\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'une atteignant plus de $1\,600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les lignes directrices pour le court terme ne sont jamais dépassées, mais ces niveaux de COVT pourraient être suffisamment élevés pour entraîner une irritation et un inconfort accrus chez les occupants, et éventuellement avoir des effets sur leur santé. Pour cette raison, nous recommandons fortement que la réduction des taux de ventilation mécanique prévus pour le modèle R-2000 soit accompagnée d'une élimination des matières produisant des rejets élevés de COV.

Pour le dioxyde de carbone (CO_2), le niveau moyen à l'intérieur est de 748 mg/l. Le «niveau d'inconfort» est de 1 000 mg/l, et la «limite à long terme» est de 3 500 mg/l. Les résultats obtenus en combinant les concentrations-sources et les taux de renouvellement de l'air montrent que le CO_2 n'est pas susceptible de causer un problème grave dans les Maisons R-2000, même avec des taux de renouvellement de l'air réduits. Toutefois, les concentrations-sources de CO_2 sont fondées sur les concentrations moyennes mesurées pendant une semaine d'observation. La production de CO_2 varie considérablement en fonction du nombre de personnes dans une section donnée de la maison et de leur niveau d'activité. Des modèles simples de chambre à coucher avec canalisation directe et d'autres dotées d'installations de remise en circulation d'air frais montrent que le niveau d'inconfort serait dépassé au taux de renouvellement de l'air proposé pour le modèle R-2000. Nous recommandons donc que la réduction des taux de renouvellement de l'air s'accompagne d'un équilibrage plus minutieux de façon à ce que le débit vers les chambres à coucher soit maintenu au niveau prévu actuellement dans la norme F326. Il s'agit là d'une mesure essentielle dans les maisons munies d'une canalisation directe, mais le tout devrait également se faire dans les maisons disposant d'installations de remise en circulation d'air.

Santé Canada recommande que l'humidité relative (HR) soit maintenue entre 30 et 55 % pendant la période de chauffage des habitations. Les résultats indiquent qu'une réduction du taux de

QAI ET TAUX DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR DES MAISONS R-2000 -RÉSUMÉ

renouvellement de l'air dans le modèle R-2000 n'aura pas d'effet significatif sur les niveaux d'humidité relative dans les Maisons R-2000. La proportion des maisons dans lesquelles une limite ou l'autre du niveau de HR serait touchée par les taux de renouvellement de l'air est très faible. Plus important encore, les occupants auraient toujours la possibilité de conserver un contrôle sur le degré d'humidité et de sécheresse dans leur maison. La décision de réduire ou non les taux de renouvellement de l'air du modèle R-2000 devrait donc être prise en fonction des autres facteurs influant sur la QAI.

À partir des résultats analysés précédemment, nous recommandons d'accepter la réduction proposée des taux de renouvellement d'air, mais comme partie d'un ensemble facultatif. Ceci rendrait possible la construction de Maisons R-2000 selon les normes actuellement en vigueur ou selon de nouvelles normes qui comprendraient *tous* les éléments suivants :

1. La puissance des systèmes de ventilation mécanique des Maisons R-2000 doit être maintenue au niveau actuel établi dans la norme F326.
2. Le taux de ventilation mécanique auquel il peut être certifié qu'une maison R-2000 atteint ses objectifs de consommation d'énergie peut être réduit à soixante-quinze pour cent (75 %) du taux établi dans la norme F326, mais il ne doit pas être inférieur.
3. Il faut imposer des restrictions supplémentaires sur les matériaux de construction autorisés dans les pare-vent ou les pare-air/pare-vapeur des maisons. Ces restrictions doivent inclure toutes les options (plutôt que deux seulement) de la «liste environnementale à utiliser» actuelle, ainsi que les ajouts suivants à cette liste :
 - i) Les tapis posés (sauf pour ce qui est indiqué) doivent porter le label du programme du *Carpet and Rug Institute*.
 - vii) On ne doit pas mettre un revêtement de sol de vinyle homogène. On peut utiliser du linoléum ou des carreaux de vinyle de type composite.
 - viii) On ne doit pas se servir de sous-couches de revêtement de sol en panneaux de particules, à moins que toutes les surfaces exposées soient enduites d'un apprêt à l'eau mentionné dans le Choix environnemental ou d'un autre apprêt de faible toxicité.
4. Les débits d'air vers les chambres à coucher doivent être équilibrés plus minutieusement et maintenus aux niveaux en vigueur dans la norme F326.
5. Il faut mettre en marche un vaste programme d'observation visant à établir la QAI d'un certain nombre de maisons construites selon des normes réduites de renouvellement d'air. Ce programme comprendrait des mesures de la QAI et des taux de renouvellement de l'air, ainsi que des mesures des rejets des divers matériaux utilisés dans les maisons lors de la construction, au moment de l'entrée dans la maison et six mois après le début de l'occupation.

La qualité élevée de l'air à l'intérieur des habitations est un élément essentiel du Programme de la maison R-2000. Nous croyons que l'ensemble proposé de mesures permettrait de maintenir à son niveau actuel ou d'améliorer la QAI dans les Maisons R-2000, tout en assurant l'atteinte des objectifs énergétiques avec un meilleur rapport coût-efficacité. Le programme d'observation fournirait les informations nécessaires à d'autres améliorations des normes dans l'avenir.