

## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Qualité de l'air intérieur et confort thermique dans les bureaux à aire ouverte

Charles, K.; Reardon, J. T.; Magee, R. J.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

#### **Publisher's version / Version de l'éditeur:**

<https://doi.org/10.4224/40002884>

*Solution constructive; no. 64, 2005-10-01*

#### **NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :**

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=ec0cc9f3-e4cf-4678-837d-7abb9ae69bbb>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=ec0cc9f3-e4cf-4678-837d-7abb9ae69bbb>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

**Questions?** Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

**Vous avez des questions?** Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

# Qualité de l'air intérieur et confort thermique dans les bureaux à aire ouverte

*par K. Charles, J.T. Reardon et R.J. Magee*

**Une bonne qualité de l'air intérieur (QAI) et un bon confort thermique sont importants pour assurer la satisfaction, le bien-être et la performance des employés. Le présent document offre des conseils pour maintenir une bonne QAI et favoriser le confort thermique des employés dans les bureaux à aire ouverte, basés sur les normes actuelles et sur la recherche menée à l'Institut de recherche en construction du CNRC et ailleurs.**

La qualité de l'air et les conditions thermiques dans les bureaux à aire ouverte sont des éléments qui doivent être pris en compte par les concepteurs, les gestionnaires et les propriétaires de bâtiments pour la conception et l'exploitation des systèmes de ventilation et pour l'aménagement des aires ouvertes. Une mauvaise qualité de l'air et des conditions thermiques inadéquates peuvent entraîner l'insatisfaction et l'inconfort des employés, réduire leur rendement au travail, et accroître l'absentéisme. De mauvaises conditions peuvent aussi affecter la santé des occupants et causer des malaises physiques, comme des maux de tête, des irritations du nez, de la gorge, des yeux et de la peau, des nausées et de la somnolence.

Les causes d'une mauvaise QAI et de conditions thermiques inadéquates sont les mêmes pour tous les types de bureaux, et les normes utilisées en Amérique du Nord, comme celles de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), peuvent aider à éviter bien des problèmes à ce chapitre. Toutefois, les bureaux à aire ouverte ont habituellement une plus forte densité d'occupation que les bureaux individuels fermés, ce qui peut influencer la quantité de chaleur et de

contaminants que l'on retrouve dans ce genre d'environnement. Il est donc important de tenir compte de ces facteurs lorsqu'on applique des normes ou met en pratique des recommandations pour la conception des bureaux à aire ouverte.

Le but de ce numéro des Solutions constructives est de fournir des conseils pour assurer une bonne QAI et des conditions thermiques appropriées dans les bureaux à aire ouverte situés dans des immeubles bénéficiant d'une bonne étanchéité à l'air et dotés d'un système de ventilation

Ce numéro vient compléter le numéro 60 qui résumait les résultats du projet Planification rentable des aires ouvertes (COPE). Les partenaires de l'IRC dans ce projet étaient : Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, le Forum sur le transfert de la technologie du bâtiment, la société USG, la Société immobilière de l'Ontario, la British Columbia Buildings Corporation, Steelcase Inc. et Ressources naturelles Canada. Pour en savoir plus sur ce projet, visitez le site [http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/cope/index\\_f.html](http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/cope/index_f.html). Trois autres numéros des Solutions constructives traitent respectivement de la conception, de l'éclairage et de l'acoustique des postes de travail.

mécanique. Ce document renferme des recommandations qui peuvent être utilisées pour améliorer la satisfaction et le confort des occupants, et pour réduire les désagréments physiques résultant d'un mauvais environnement de travail. Il ne traite pas toutefois des mesures à adopter pour prévenir des effets plus graves sur la santé (par exemple, l'asthme, le cancer, l'hyper-sensibilité). Si l'on a des raisons de croire que des problèmes de santé graves sont associés à la qualité de l'air ou aux conditions thermiques dans les bureaux, on doit demander à des spécialistes de l'environnement intérieur et à des experts en santé de faire enquête.

### Confort thermique

Si les niveaux de température et d'humidité dans les bureaux sont trop élevés ou trop faibles, les occupants peuvent être insatisfaits à l'égard de leur environnement, qu'ils jugeront inconfortable, et être moins efficaces dans leurs tâches. Le maintien de conditions confortables dans les bâtiments à ventilation mécanique dépend des six variables suivantes : la température de l'air, la vitesse d'écoulement de l'air, l'humidité relative, la température de rayonnement, le degré d'isolement des vêtements et le niveau d'activité des occupants. La norme 55 de l'ASHRAE définit une « zone de confort » basée sur ces six variables comme étant celle où une majorité des occupants se sentent à l'aise<sup>1</sup>.

La forte densité d'occupants et de matériel que l'on trouve dans les bureaux à aire ouverte augmente la quantité de chaleur dégagée (et par conséquent les besoins en climatisation) dans cet espace. Par conséquent, le système de chauffage/climatisation doit être capable de prendre en charge cette forte densité d'occupants, et être exploité de façon appropriée pour répondre aux exigences thermiques de ce genre d'environnement.

Selon les diagrammes illustrant la zone de confort<sup>1</sup>, il est presque impossible d'atteindre des températures confortables lorsque l'humidité relative est élevée. Un taux d'humidité élevé favorise aussi la croissance de moisissures et de bactéries; par conséquent, l'ASHRAE recommande que le taux d'humidité relative soit maintenu en dessous de 60 %. L'ASHRAE ne recommande pas de seuil minimum du taux d'humidité pour assurer le confort thermique des occupants, mais l'on sait que des conditions sèches peuvent accroître l'électricité statique et causer des problèmes de santé, comme des irritations cutanées; on devrait donc s'efforcer de maintenir un taux d'humidité relative supérieur à 30 %. Les plages jugées acceptables par l'ASHRAE pour la température opérative (une combinaison des températures ambiante et rayonnante) pour des taux d'humidité relative se situant entre 30 % et 60 % sont fournies au tableau 1.

Les occupants modifient leur habillement en fonction des saisons, et c'est pourquoi on trouve des recommandations pour l'été et pour l'hiver, afin de refléter le niveau « d'isolement thermique » (mesuré en « clo ») qui est fourni par les vêtements des occupants. Ces plages sont valides pour des activités de bureau typiques et pour des vitesses de l'air inférieures à 0,2 m/s (40 pi/min). Pour déterminer les températures opératives acceptables pour divers taux d'humidité relative, vitesses de l'air, degrés d'isolement des vêtements et niveaux d'activité, on doit consulter les autres diagrammes de la zone de confort de l'ASHRAE<sup>1</sup>. Les résultats d'une étude sur le terrain de l'IRC ont confirmé ces plages de température jugées acceptables par l'ASHRAE<sup>2</sup>.

Les occupants des bureaux à aire ouverte doivent généralement partager un même thermostat, ce qui réduit le contrôle qu'ils peuvent exercer sur leur environnement thermique. Une politique souple sur la

**Tableau 1.** Exemples de plages de température opérative jugées acceptables, basées sur les diagrammes de la zone de confort de la norme 55-2004 de l'ASHRAE

Conditions	Températures opératives acceptables	
	°C	°F
<b>Été</b> (degré d'isolement des vêtements = 0,5 clo)		
Humidité relative 30 %	24,5–28	76–82
Humidité relative 60 %	23–25,5	74–78
<b>Hiver</b> (degré d'isolement des vêtements = 1,0 clo)		
Humidité relative 30 %	20,5–25,5	69–78
Humidité relative 60 %	20–24	68–75

tenue vestimentaire au bureau permet aux occupants d'ajuster leur niveau de confort thermique, mais celle-ci ne doit pas se substituer à un mécanisme approprié de contrôle de la température dans la pièce.

Même si les occupants bénéficient d'un confort thermique général, ils peuvent quand même éprouver un inconfort sur certaines parties de leur corps, la plupart du temps à cause des courants d'air. Cet inconfort dépendra de la température et de la vitesse de l'air ainsi que de l'intensité des turbulences (l'ampleur des fluctuations dans l'écoulement de l'air)<sup>1</sup>. L'ASHRAE recommande de configurer l'environnement de façon à ce que moins de 20 % des occupants soient insatisfaits en raison des courants d'air. De façon générale, on y arrive en maintenant la température de l'air à l'intérieur de la zone de confort et la vitesse de l'air en dessous de 0,2 m/s, quoique l'IRC ait constaté qu'une vitesse de l'air inférieure ou égale à 0,1 m/s pouvait accroître le niveau de satisfaction<sup>2</sup>.

L'ASHRAE autorise des vitesses de l'air plus élevées lorsque les conditions ambiantes sont humides et chaudes, puisqu'il est démontré que les occupants apprécient l'effet rafraîchissant de ces déplacements d'air<sup>3</sup>. Toutefois, il est important que les occupants conservent un contrôle sur la vitesse de l'air ambiant<sup>1</sup>.

Les chercheurs de l'IRC ont constaté que l'emplacement des diffuseurs d'air par rapport aux postes de travail pouvait accroître le risque de courants d'air<sup>2</sup>. Cela pose d'autant plus un problème dans les postes de travail de petites dimensions, où les occupants ont moins le loisir de changer de place à l'intérieur de leur bureau pour ne pas se trouver sur la trajectoire du courant d'air, et où le flux d'air total risque lui aussi d'être plus élevé (pour compenser la plus forte densité d'occupation et la charge de climatisation plus élevée qui en découle). Il existe également une plus grande probabilité de courants d'air lorsque les diffuseurs sont placés en angle, ce qui se traduit par une plus grande quantité d'air dirigée directement sur les occupants. Si l'on procède à un réaménagement des bureaux, il est important de modifier l'emplacement des diffuseurs et d'ajuster le volume de la ventilation pour aider à atténuer ces problèmes.

Les occupants assis près d'une fenêtre ont aussi tendance à être moins satisfaits de leurs conditions thermiques<sup>2</sup>. Même si les postes de travail situés près des fenêtres bénéficient d'un éclairage naturel et d'une vue sur l'extérieur, leurs occupants subis-

sent souvent de plus grandes variations de température en raison de la chaleur ou du froid rayonnant des fenêtres. L'ajout de stores, de dispositifs de chauffage et de climatisation périmétriques, et l'installation de fenêtres bien isolées peuvent aider à pallier ces problèmes.

### **Qualité de l'air intérieur**

Pour obtenir une bonne qualité de l'air intérieur (QAI), on doit tenir compte de nombreux facteurs, tels que : le type et la quantité des contaminants ainsi leur déplacement dans l'espace, l'apport d'air extérieur, tant en qualité qu'en quantité, le mouvement de l'air, la propreté des bureaux et du système de ventilation.

### **Contaminants intérieurs**

Les contaminants dans les bureaux peuvent provenir de nombreuses sources. Parmi ceux-ci, on trouve les contaminants extérieurs émis par les véhicules et les usines, comme le monoxyde de carbone et le dioxyde de soufre, qui peuvent pénétrer dans le bâtiment par le biais du système de ventilation et des ouvertures ou encore s'infiltrer à travers les murs. Les matériaux de construction et le mobilier peuvent aussi contenir des produits chimiques, en particulier des composés organiques volatils (COV), qui sont continuellement relâchés dans l'air intérieur. L'équipement de bureau, comme les imprimantes et les photocopieurs, peut produire de l'ozone et émettre aussi des COV. Enfin, la poussière et la moisissure peuvent s'accumuler dans les systèmes de ventilation et dans les bureaux, offrant un milieu propice pour la croissance des organismes microbiens.

Les occupants eux-mêmes peuvent être une source de contaminants, par les gaz qu'ils produisent par leur respiration et leur transpiration, par les produits d'hygiène personnelle qu'ils utilisent (comme les parfums et les désodorisants), et par les poussières, poils et squames d'animaux qu'ils transportent à leur travail sur leurs vêtements. Tous ces contaminants peuvent rendre l'air vicié et poussiéreux, dégager des odeurs désagréables et causer l'insatisfaction et l'inconfort des occupants.

À de fortes concentrations, ces contaminants intérieurs peuvent provoquer des maux physiques et, dans certains cas, occasionner de graves problèmes de santé. Les densités d'occupation, de mobilier et de matériel de plus en plus élevées que l'on trouve dans les bureaux à aire ouverte peuvent aussi contribuer à des concentrations accrues de contaminants.

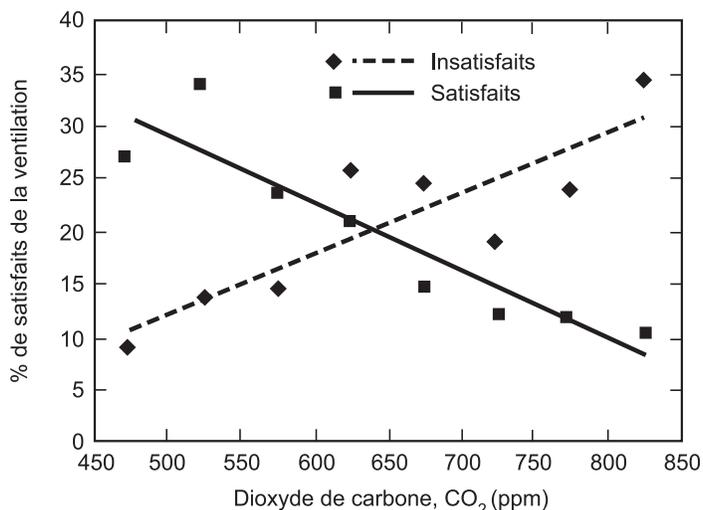


Figure 1. Pourcentage des occupants satisfaits ou insatisfaits de la ventilation pour différentes concentrations de dioxyde de carbone

Pour certains contaminants, des lignes directrices sur les concentrations acceptables à respecter à l'intérieur des bâtiments ont été établies. L'ASHRAE fournit un bon résumé de ces lignes directrices, qui incluent plusieurs contaminants dont la source principale est l'air extérieur (monoxyde de carbone, dioxyde d'azote, radon et dioxyde de soufre), les COV les plus communs (formaldéhyde), l'ozone et les particules inhalables<sup>4</sup>.

Des lignes directrices sur les concentrations acceptables pour d'autres contaminants ne sont pas encore disponibles. Par exemple, même si les moisissures et les COV ont été associés à des malaises physiques et à une insatisfaction accrue, la recherche actuelle ne permet pas d'établir des lignes directrices fiables sur les concentrations acceptables pour ces contaminants<sup>2</sup>. En l'absence de telles lignes directrices, les concentrations de tous les contaminants intérieurs devraient être maintenues au plus bas niveau possible (voir les recommandations ci-dessous).

Des concentrations élevées de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans les bureaux peuvent être un indice indirect d'une mauvaise ventilation et d'une accumulation de contaminants. À des niveaux de CO<sub>2</sub> supérieurs à 1000 parties par million (ppm), les occupants sont moins satisfaits, ils se plaignent davantage de la mauvaise qualité de l'air et manifestent des symptômes physiques plus nombreux<sup>2</sup>. Des travaux de recherche indiquent que la réduction de ce niveau à 800 ppm peut améliorer la satisfaction des occupants et réduire ces symptômes<sup>5</sup>. La recherche à l'IRC a établi que le niveau de satisfaction augmentait à mesure que les concentrations de CO<sub>2</sub> diminuaient (pour la plage de 1100 à 470 ppm), et que plus de

gens étaient satisfaits qu'insatisfaits lorsque les concentrations de CO<sub>2</sub> étaient inférieures à 650 ppm (voir la figure 1)<sup>2</sup>. On aurait donc avantage à dépasser les recommandations de l'ASHRAE pour la ventilation des locaux.

### Taux d'apport d'air extérieur

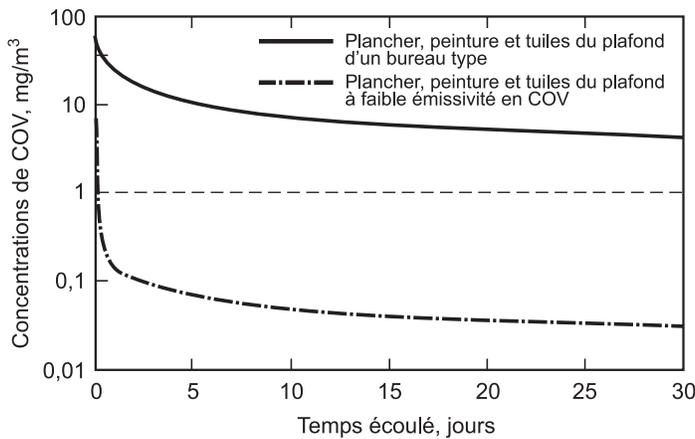
Les bureaux doivent être suffisamment ventilés avec de l'air extérieur pour diluer les contaminants et fournir de l'oxygène aux occupants. Pendant de nombreuses années, la norme 62.1 de l'ASHRAE recommandait un taux d'apport d'air extérieur minimal de 10 litres par seconde par personne (L/s/personne), mais récemment, ce taux a été réduit à 8,5 L/s/personne<sup>4</sup>. Cette réduction permet des économies d'énergie, certes, mais son effet sur les occupants n'est pas clair, puisqu'aucune recherche pour comparer ces deux taux n'a encore été effectuée. Toutefois, la recherche existante suggère que des taux d'apport d'air extérieur inférieurs à 10 L/s/personne peuvent provoquer l'inconfort et l'insatisfaction des occupants, accroître les malaises physiques et l'absentéisme et réduire la performance des employés dans l'exécution de leurs tâches<sup>2,5</sup>. La recommandation de l'ASHRAE de 8,5 L/s/personne devrait être considérée comme un taux minimum absolu; un taux d'apport d'air extérieur de 10 L/s/personne est en effet préférable pour maintenir une bonne QAI.

Le maintien d'une ventilation adéquate dans un espace habité dépend aussi de l'utilisation appropriée du système de ventilation. Des mesures spéciales devraient être prises – par exemple augmenter le taux de ventilation ou isoler l'espace – lorsqu'on rénove les bureaux ou que l'on installe de nouveaux matériaux et mobiliers, puisque les matériaux émettent généralement plus de COV lorsqu'ils sont neufs<sup>6</sup>.

Comme les taux d'apport d'air extérieur sont déterminés en fonction du nombre d'occupants, il est important d'établir un taux approprié en se basant sur le nombre d'occupants prévu dans les aires ouvertes, et de le réviser lorsque la densité d'occupation vient à changer.

### Systèmes de distribution d'air

Les diffuseurs d'air et les bouches de retour devraient être positionnés et exploités de façon à ce que l'air soit distribué uniformément dans tous les secteurs de l'aire ouverte, et que les contaminants soient effectivement expulsés, ou dilués avec l'air extérieur. Les systèmes de distribution d'air utilisés en Amérique du Nord comprennent :



**Figure 2.** Émissions de COV du plancher, de la peinture des murs et des tuiles du plafond mesurées dans un bureau type comparées à des configurations à faible émissivité simulées dans un immeuble de bureaux de 30 500 m<sup>2</sup>

les systèmes mélangeurs (traditionnels), les systèmes à déplacement d'air et les systèmes personnels<sup>7</sup>.

La plupart des bureaux à aire ouverte en Amérique du Nord utilisent le système traditionnel à circuits mélangeurs. En autant que ce système est bien conçu et utilisé, il peut produire une bonne QAI<sup>7</sup>. Des chercheurs de l'IRC ont constaté que la taille des postes de travail, la hauteur des cloisons et l'emplacement des diffuseurs d'air avaient très peu d'effet sur la performance du système traditionnel dans le contrôle des concentrations de contaminants dans les bureaux à aire ouverte (lorsque le taux d'apport d'air extérieur est de 10 L/s/personne)<sup>2</sup>. Toutefois, les occupants de postes de travail dotés de cloisons élevées avaient tendance à être moins satisfaits de la ventilation<sup>2</sup>. Il s'agit sans doute d'un effet psychologique plutôt que d'une fonction de l'environnement physique comme tel – en effet, les occupants pensent que des cloisons hautes peuvent nuire à une bonne circulation d'air. Pour cette raison, on devrait éviter d'installer des cloisons de plus de 1,68 m (66 po) de haut.

Les systèmes à déplacement d'air et les systèmes personnels peuvent tous deux produire une QAI supérieure (par rapport aux systèmes traditionnels), à condition que l'air contaminé et vicié s'élève suffisamment au-dessus de la tête des occupants. Mais ces systèmes peuvent aussi occasionner un inconfort thermique s'ils ne sont pas mis en œuvre correctement. Les systèmes à déplacement d'air soufflent l'air au niveau du plancher, ce qui peut donner lieu à des courants d'air si la température de l'air entrant n'est pas contrôlée correctement; ils peuvent aussi créer des gradients de température entre le haut et le bas de la pièce, qui peuvent être inconfortables s'ils sont trop importants. Les systèmes personnels

améliorent la QAI lorsque la plus grande partie de l'air est dirigée vers le visage des occupants, mais peuvent entraîner de l'inconfort en raison des courants d'air qui en résultent.

Une caractéristique unique des systèmes personnels est qu'ils fournissent un contrôle individuel aux occupants, en leur permettant de régler la vitesse, la température et la direction de l'air. En raison des possibilités qu'ils offrent pour améliorer le confort individuel, les systèmes personnels sont associés à une satisfaction et à un confort thermique accrus, et à une réduction des symptômes physiques, comparativement aux systèmes traditionnels<sup>2</sup>.

### **Autres facteurs qui contribuent à une bonne QAI**

#### **Nettoyage et entretien**

Les contaminants peuvent s'accumuler dans l'espace de bureau et dans le système de ventilation lui-même. Un nettoyage régulier et en profondeur des bureaux et du système de ventilation permet de réduire l'accumulation de la poussière, des COV et des microbes, et donc permet d'améliorer la satisfaction des occupants et de réduire les malaises physiques<sup>2</sup>. En revanche, certaines techniques de nettoyage pouvant provoquer temporairement une redistribution de la poussière dans l'air et de nombreux produits de nettoyage contenant eux-mêmes des COV, ces activités ne devraient être entreprises que lorsque les bureaux ne sont pas occupés.

#### **Contrôle des sources de contaminants**

La meilleure façon d'améliorer la QAI est évidemment d'empêcher les contaminants de pénétrer dans l'espace de bureau. Une meilleure sélection des matériaux et des produits utilisés permettra de réduire la quantité de COV émis, particulièrement lorsque de nouveaux matériaux sont introduits dans le bâtiment. La figure 2 illustre la réduction des concentrations de COV obtenue lorsque l'on utilise des produits qui émettent peu de COV plutôt que des produits traditionnels<sup>8</sup>.

Afin d'empêcher les contaminants extérieurs de pénétrer dans les bureaux, il faut utiliser des filtres à air à haute efficacité dans le système de ventilation.

#### **Communication**

La qualité de l'air intérieur peut être une source de friction entre les occupants, les gestionnaires et les exploitants de bâtiments. Une façon d'éviter les conflits consiste à élaborer une procédure claire pour le traite-

ment des plaintes. De cette façon, on peut répondre rapidement aux préoccupations des occupants, y donner suite et corriger rapidement les problèmes de QAI.

### **Résumé des recommandations**

Le respect de normes élevées pour la qualité de l'air intérieur et le confort thermique est important pour assurer la satisfaction, le bien-être et la performance des employés. Pour aider à créer un environnement adéquat pour les occupants des bureaux à aire ouverte, on recommande de suivre les lignes directrices suivantes :

#### **Système de ventilation mécanique**

- Utiliser un taux d'apport d'air en air extérieur qui respecte ou dépasse la norme 62.1 de l'ASHRAE
- Assurer des conditions thermiques qui satisfont à la norme 55 de l'ASHRAE
- S'assurer que le système possède la capacité et les conduites nécessaires pour répondre aux besoins, compte tenu de la densité d'occupation prévue, et qu'il est reconfiguré et rééquilibré lorsque la densité change
- Nettoyer et entretenir régulièrement tous les éléments du système
- Régler les diffuseurs d'air pour éviter les courants d'air
- Fournir un contrôle individuel pour l'un ou plusieurs des aspects suivants : vitesse, direction et température de l'air

#### **Espace de bureau**

- Choisir des matériaux, de l'équipement et du mobilier qui dégagent peu de COV
- Nettoyer régulièrement les planchers, le mobilier, l'équipement et les surfaces
- Fournir des dispositifs d'ombrage et des sources locales de chauffage et de climatisation aux occupants des postes de travail périmétriques
- Éviter les cloisons de plus de 1,68 m (66 po) de haut
- Choisir des fenêtres ayant des indices d'isolation et des caractéristiques réfléchissantes élevés

#### **Politiques à l'égard des employés de bureau (ne doit pas remplacer une exploitation adéquate du système de ventilation)**

- Adopter un code souple pour l'habillement au travail
- Élaborer et mettre en œuvre une procédure de traitement des plaintes claire et réceptive

### **Références**

1. ASHRAE. *ANSI/ASHRAE Standard-55-2004: Thermal environmental conditions for human occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2004.
2. Conseil national de recherches du Canada, Institut de recherche en construction. *Rapports de recherche du projet PRAO* ([http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/cope/02-4-Reports\\_f.html](http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/cope/02-4-Reports_f.html)), Ottawa, 2003.
3. Arens, E., Xu, T., Miura, K., Hui, Z., Fountain, M. et Bauman, F.S. A study of occupant cooling by personally controlled air movement. *Energy and Buildings*, 27, 45-59, 1998.
4. ASHRAE. *ANSI/ASHRAE Standard-62.1-2004: Ventilation for acceptable indoor air quality*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2004.
5. Seppanen, O.A., Fisk, W.J. et Mendell, M.J. Association of ventilation rates and carbon dioxide concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9(4), 226-252, 1999.
6. Shaw, C.Y. *Une qualité de l'air acceptable dans les immeubles de bureaux, c'est possible grâce à la ventilation*, Solution constructive n° 3, Conseil national de recherches du Canada, Institut de recherche en construction, 1997, 4 p. [http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/ctus/3\\_f.html](http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/ctus/3_f.html)
7. ASHRAE. *ASHRAE Fundamentals: Chapter 32. Space Air Distribution*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2001.
8. Won, D.Y., Magee, R.J., Luszyk, E., Nong, G., Zhu, J., Zhang, J.S., Reardon, J.T. et Shaw, C.Y. (2003). A comprehensive VOC emission database for commonly-used building materials. In *Proceedings of the 7th International Conference on Healthy Buildings*, Singapour (Vol. 1, p.253-258) <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/nrcc46265>

*K. Charles et J.T. Reardon sont tous deux agents de recherche au sein du programme Environnement intérieur de l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada.*

*R.J. Magee est agent du conseil de recherche au sein du même programme.*

© 2005  
Conseil national de recherches du Canada  
Octobre 2005  
ISSN 1206-1239

« Solutions constructives » est une collection d'articles techniques renfermant de l'information pratique issue de récents travaux de recherche en construction.

Canada

Pour obtenir de plus amples renseignements, communiquer avec l'Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0R6.  
Téléphone : (613) 993-2607 Télécopieur : (613) 952-7673 Internet : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>