

AIR INTÉRIEUR

# L'efficacité des filtres moléculaires pour la ventilation des bâtiments

Par ALAIN GINESTET et DOMINIQUE PUGNET, Cetiati,  
Centre technique des industries aéronautiques et thermique

D'ores et déjà utilisés dans les salles propres de la microélectronique, les filtres moléculaires pourraient bientôt faire leur apparition dans le tertiaire au nom de la qualité de l'air intérieur. Ozone et oxydes d'azote : leur efficacité sur ces polluants courants dans l'air des grandes villes est connue. Restait toutefois encore à mieux cerner l'évolution de leurs performances en conditions réelles et à comprendre l'influence de paramètres telles la température et l'humidité relative.

L'air des grandes villes contient une grande quantité de polluants parmi lesquels l'ozone (O<sub>3</sub>) et les oxydes d'azote (NO<sub>2</sub> et NO) qui pénètrent facilement à l'intérieur des bâtiments via les systèmes de ventilation. Ces polluants présentent des risques pour la santé et ils peuvent par ailleurs réagir avec des polluants plus spécifiques de l'air intérieur (composés organiques volatils par exemple) pour former, par réaction chimique, d'autres composés dont l'impact sur le confort et la santé peut être négatif. Il existe sur le marché des filtres moléculaires pour les applications de ventilation des bâtiments (utilisant des matériaux adsorbants comme le charbon actif, par exemple) mais très peu de publications rapportent des résultats montrant en utilisation réelle l'efficacité de ce type de filtres et donc la pertinence de leur utilisation.

L'objectif de cette étude était de mieux comprendre le comportement de filtres moléculaires utilisés en ventilation générale et d'évaluer l'influence de leur utilisation sur la qualité de l'air intérieur. Dans cette optique, l'efficacité de deux types différents de filtres moléculaires installés dans une centrale de traitement d'air alimentant en air neuf (extérieur) un immeuble de bureaux du centre-ville de Lyon a été suivie, en utilisation réelle, pendant plusieurs mois, vis-à-vis de l'ozone (O<sub>3</sub>) et des oxydes d'azote (NO<sub>2</sub> et NO). Cet article rapporte en particulier les résultats de la mesure de l'efficacité des filtres vis-à-vis de l'ozone et du dioxyde d'azote, en s'attachant à rapprocher ces résultats des conditions de température et d'humidité de l'air traversant les filtres.

## Revue bibliographique

L'étude dont les résultats ont été publiés par Shair en 1981 [1] fait partie des toutes premières dans ce domaine. Dans cette étude, il a été montré que des filtres moléculaires (charbons actifs) d'une installation de ventilation générale, protégés par des préfiltres et utilisés lorsque la concentration extérieure en ozone dépassait 0,2 ppm (principalement en été), permettaient, après une, deux et trois années d'utilisation, de réduire les concentrations en ozone à l'intérieur d'un bâtiment (concentration à l'intérieur inférieure à 0,2 fois la concentration à l'extérieur). Au bout de ces trois périodes d'utilisation, l'efficacité des filtres était égale à respectivement 95, 80 et 50 %, mais les auteurs de l'article ne précisent pas s'il s'agit d'une efficacité moyenne ou ponctuelle mesurée à un moment particulier du fonctionnement de l'installation de ventilation. Il n'a pas été montré, au cours de cette étude, de relation entre l'efficacité de filtration et d'autres paramètres (débit d'air, température et humidité de l'air, concentrations en polluants, etc.).

Shields *et al.* ont montré que des filtres à charbons actifs possèdent toujours une bonne efficacité de filtration vis-à-vis ➔

➔ de l'ozone après plusieurs années d'utilisation dans deux installations de ventilation différentes [2]. Dans la première installation, l'efficacité initiale des filtres était égale à 85 %, puis 60 % après trois, cinq et huit ans d'utilisation. Dans l'autre installation, l'efficacité initiale des filtres était égale à 95 %, restait constante après deux ans d'utilisation et passait à 92 % après cinq ans et enfin 70 % au bout de sept ans. Dans les deux installations, les auteurs de l'article ont remarqué qu'à

concentrations intérieures et extérieures rapportée à la concentration extérieure était égale à 20 % pour NO. Avec les filtres moléculaires, ce rapport était d'environ 65 % pour NO et NO<sub>2</sub>. Les variations temporelles d'efficacité de filtration n'étaient pas étudiées.

Enfin, le suivi d'une installation de ventilation située sur le toit d'un immeuble commercial de Göteborg (Suède) a permis d'étudier pendant plusieurs mois l'efficacité de filtres à

## ■ ■ De précédentes études ont déjà mis en évidence des variations temporelles de l'efficacité des filtres moléculaires installés en centrale de traitement d'air."

certaines périodes, l'efficacité des filtres était plus faible et ils affirment que cette baisse est probablement due à une augmentation de l'humidité relative de l'air (paramètre non mesuré). Les résultats de Shields *et al.* sont présentés de manière plus détaillée dans deux articles publiés quelques années plus tôt ([3] et [4]).

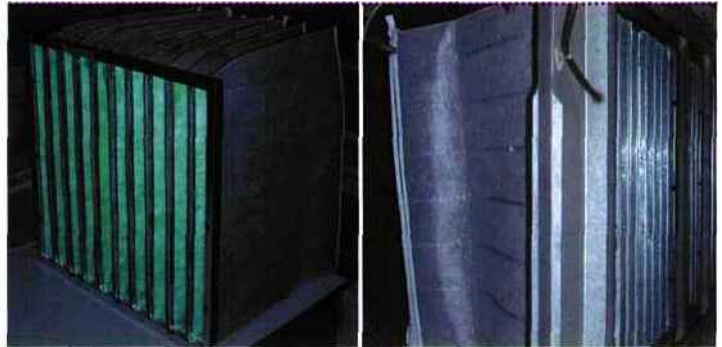
Les résultats de Partti-Pellinen *et al.* publiés en 2000 [5] sont relatifs à l'influence de la ventilation et de la filtration de l'air sur sa qualité (représentée par les concentrations en poussières, NO et NO<sub>2</sub>) dans un centre de soins pour enfants (en Finlande). Les filtres moléculaires utilisés étaient à base de charbons actifs et d'oxyde d'alumine imprégnée de permanganate de potassium. Avec des filtres particuliers seuls dans l'installation de ventilation, la différence entre les

charbons actifs protégés par des filtres particuliers classés F7 [6]. Vis-à-vis de l'ozone, les filtres à base de charbons actifs en grains montrent une efficacité initiale comprise entre 58 et 79 % et une efficacité après cinq mois comprise entre 36 et 76 %. Avec des filtres imprégnés de billes de charbons actifs, les auteurs (Ekberg et Strindehag) rapportent des valeurs d'efficacité plus élevées après cinq mois d'utilisation. Par rapport au dioxyde d'azote, l'efficacité des filtres imprégnés de billes de charbons actifs était de l'ordre de 50 % à l'état initial et supérieure à 30 % après cinq mois. Avec les autres types de filtres, l'efficacité était plus faible. Les auteurs rapportent également des valeurs de NO plus élevées en aval des filtres qu'en amont et ils affirment qu'elles résultent d'une transformation chimique du NO<sub>2</sub> en NO.

## ❶ Filtres moléculaires rigides seuls et dans la centrale de traitement d'air



## ❷ Filtres combinés à poches seuls et dans la centrale de traitement d'air



### Méthode

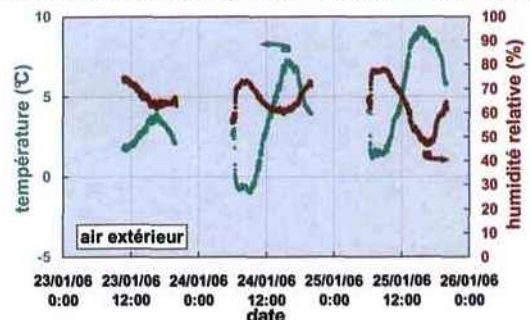
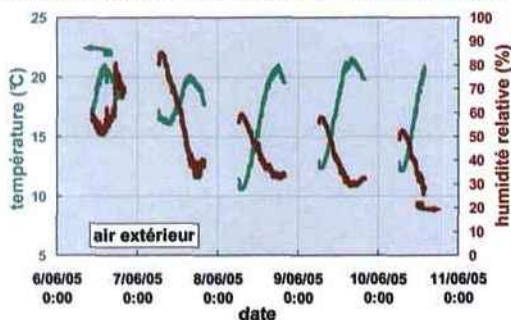
Les filtres moléculaires étudiés ont été installés dans une centrale de traitement d'air alimentant en tout air neuf (extérieur) un immeuble de bureaux du centre-ville de Lyon. La centrale de traitement d'air est positionnée sur le toit de l'immeuble (neuvième étage) et l'air est insufflé dans les bureaux via un réseau de gaines et des diffuseurs plafonniers. La reprise de l'air (grilles de reprise également au plafond) est gérée par une autre centrale de traitement d'air (système de récupération de chaleur entre les deux centrales).

Deux configurations de filtration moléculaire différentes ont été étudiées. Dans les deux cas, le système de filtration contient, installés en parallèle dans la centrale de traitement d'air, quatre filtres complets et deux demi-filtres. La première configuration, étudiée entre juillet 2005 et juin 2006, consiste en des filtres moléculaires rigides (12,5 kg de charbons actifs par filtre, fournis par France Air) (figure 1) protégés en amont par des préfiltres plissés (medium fibres de verre, fournis par Camfil Farr) classés F6 (EN 779). Les charbons actifs (grains) ont été fabriqués à l'aide de noix de coco et 95 % des grains (en masse) ont un diamètre supérieur à 2,5 mm (surface spécifique égale à

800 m<sup>2</sup>/g). La deuxième configuration, étudiée depuis juillet 2006, est constituée de filtres combinés (particulaire + moléculaire) à poches (fournis par Camfil Farr) classés F7 (EN 779) (figure 2). Ce type de filtre est constitué d'un medium fibres de verre imprégné de charbons actifs en poudre.

La centrale de traitement d'air fonctionne cinq jours par semaine (lundi au vendredi) de 6 h 00 à 20 h 00. Les concentrations en ozone (O<sub>3</sub>) et oxydes d'azote (NO<sub>2</sub> et NO) sont mesurées en amont des filtres (air extérieur), en aval (air soufflé) et dans le conduit d'air extrait (air intérieur), à l'aide d'analyseurs spécifiques automatiques (absorption UV pour O<sub>3</sub> et chimiluminescence pour NO<sub>2</sub> et NO). L'efficacité de filtration est calculée à l'aide des valeurs de concentrations mesurées en amont et en aval des filtres. La température et l'humidité relative de l'air sont mesurées en amont des filtres. Ces mesures ont été effectuées pendant une semaine toutes les six semaines environ. Les analyseurs et capteurs étaient raccordés à un système d'acquisition de données. Le débit d'air de la centrale de traitement d'air est calculé à l'aide des mesures de vitesse de l'air effectuées sur une section droite du conduit d'air soufflé. Le débit d'air était compris →

### ❸ Conditions climatiques en juin 2005 et janvier 2006

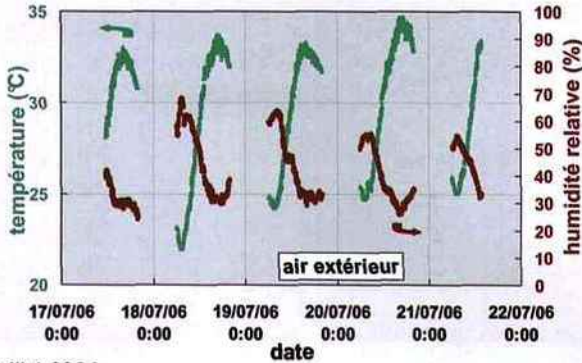


#### ❹ juin 2005

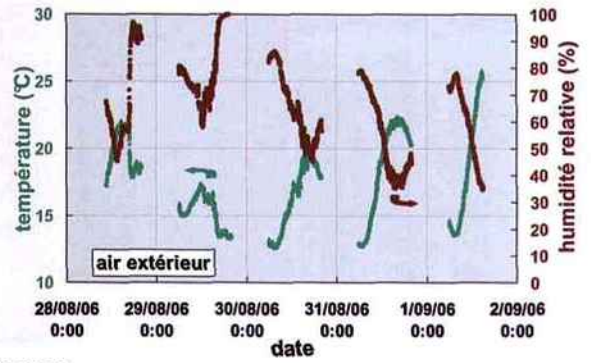
Valeurs de température et d'humidité relative de l'air à l'entrée de la centrale de traitement d'air, juste en amont des filtres, pour la première configuration de filtration (filtres moléculaires rigides).

#### ❺ janvier 2006

## 4 Conditions climatiques en juillet et août 2006



Ⓐ juillet 2006



Ⓑ août 2006

Valeurs de température et d'humidité relative de l'air à l'entrée de la centrale de traitement d'air, juste en amont des filtres, pour la deuxième configuration de filtration (filtres combinés à poches).

→ entre 12 500 et 16 900 m<sup>3</sup>/h avec les filtres rigides et entre 16 200 et 17 200 m<sup>3</sup>/h avec les filtres combinés.

## Résultats et discussions

### Conditions climatiques associées aux valeurs d'efficacité de filtration présentées

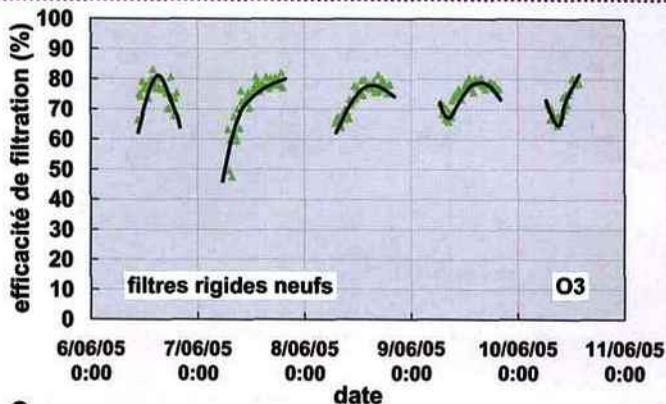
Les conditions climatiques (température et humidité relative de l'air à l'entrée de la centrale de traitement d'air juste en amont des filtres) correspondant aux résultats présentés plus loin sont données par les figures 3a et 3b pour la première configuration de filtration (filtres moléculaires rigides) et aux figures 4a et 4b pour la deuxième (filtres combinés à poches).

### Efficacité des filtres vis-à-vis de l'ozone (O<sub>3</sub>)

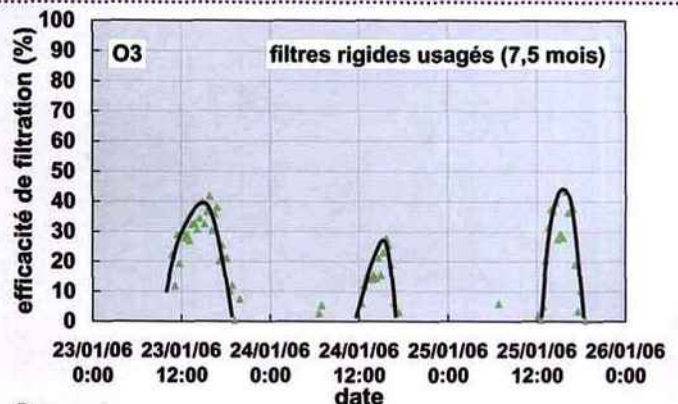
Vis-à-vis de l'ozone, l'efficacité initiale des filtres rigides était comprise entre 50 et 80 % (figure 5a) et apparaît plus faible

7,5 mois plus tard (figure 5b). On remarque que l'efficacité de filtration augmente lorsque, en même temps, la température de l'air augmente et l'humidité relative diminue. Afin de mieux comprendre l'influence séparée de la température et de l'humidité relative de l'air, il est possible de présenter les résultats sous la forme de la figure 6a (humidité relative de l'air constante) et de la figure 6b (température de l'air constante). À humidité relative constante, l'efficacité augmente lorsque la température augmente (figure 6a), ce qui signifie que l'ozone est principalement arrêté par réaction chimique (réactions avec les charbons actifs et avec d'autres composés, des composés organiques volatils par exemple, eux-mêmes adsorbés par les charbons actifs). À température constante, l'efficacité reste relativement stable tant que l'humidité relative reste inférieure à environ 70 % puis diminue (figure 6b). Ce résultat s'explique par la compétition, au sein des charbons actifs, entre les →

## 5 Efficacité des filtres rigides vis-à-vis de l'ozone



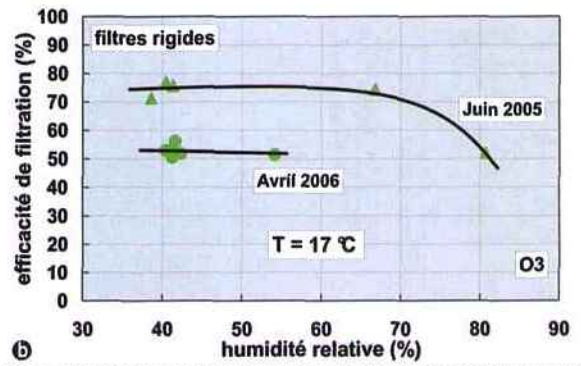
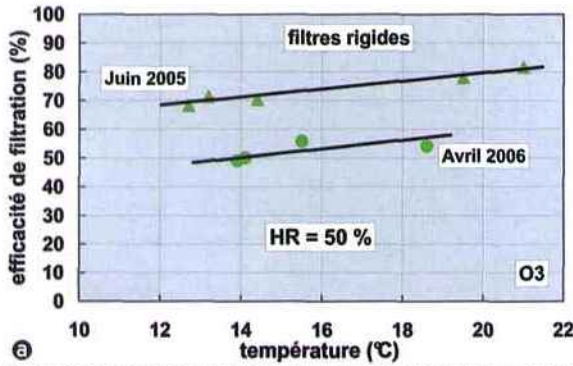
Ⓐ



Ⓑ

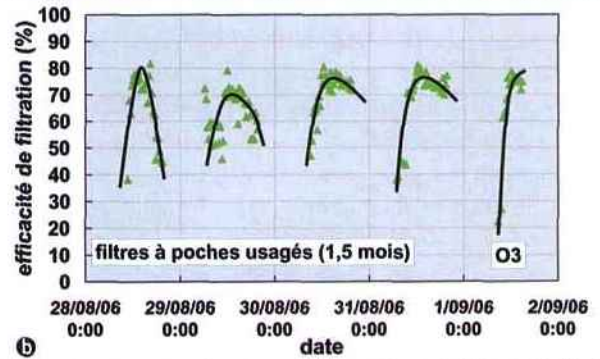
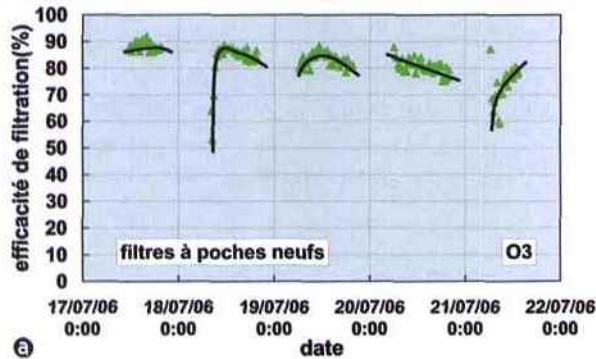
L'efficacité initiale des filtres rigides vis-à-vis de l'ozone était comprise entre 50 et 80 %. Cependant 7,5 mois plus tard, elle se révèle plus faible.

## 6 Efficacité des filtres rigides : influence de la température et de l'humidité relative à l'air



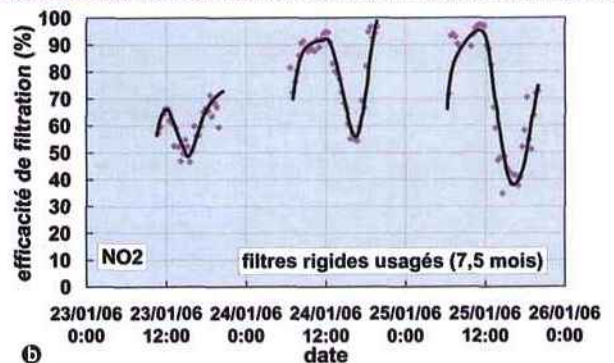
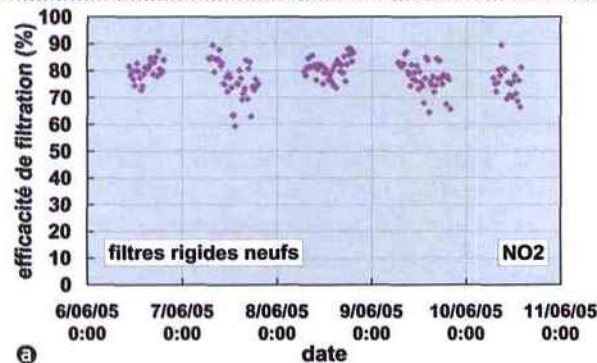
À humidité relative constante, l'efficacité augmente avec la température (6a). À température constante, l'efficacité reste relativement stable tant que l'humidité relative reste inférieure à environ 70 %, puis diminue (6b). Cela signifie que l'ozone est principalement arrêté par réaction chimique avec les charbons actifs et d'autres composés (des composés organiques volatils par exemple), eux-mêmes adsorbés par les charbons actifs.

## 7 Efficacité des filtres à poches vis-à-vis de l'ozone



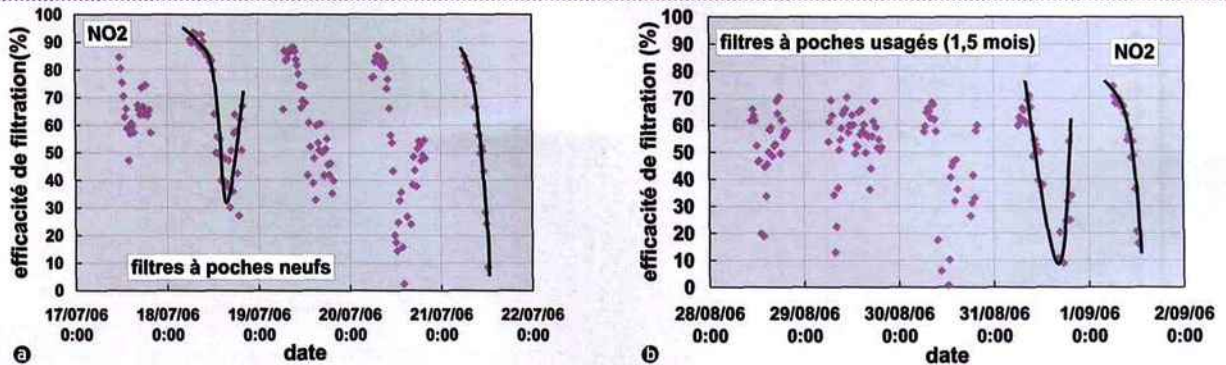
À l'image des valeurs obtenues avec les filtres rigides, les résultats relatifs aux filtres combinés montrent une grande sensibilité de l'efficacité de filtration aux conditions thermo-hygrométriques de l'air.

## 8 Efficacité des filtres rigides vis-à-vis du dioxyde d'azote



L'efficacité initiale des filtres rigides sur le dioxyde d'azote était comprise entre 60 et 90 %. Après 7,5 mois d'utilisation (figure 8b), ces filtres se révèlent plus efficaces lorsque l'air est à la fois plus froid et plus humide.

## 9 Efficacité des filtres à poches vis-à-vis du dioxyde d'azote



Les résultats sur les filtres combinés à poches montrent une plus grande sensibilité de l'efficacité de filtration aux conditions de température et d'humidité relative de l'air.

→ molécules d'eau sous forme vapeur, l'ozone et d'autres composés (composés organiques volatils par exemple). Plus la quantité d'eau adsorbée augmente, moins il y a de sites de charbons actifs disponibles pour l'adsorption des autres molécules. Les résultats relatifs aux filtres combinés à poches (figure 7a et 7b) sont de même nature que ceux obtenus avec les filtres rigides et montrent une grande sensibilité de l'efficacité de filtration aux conditions thermo-hygrométriques de l'air.

### Efficacité des filtres vis-à-vis du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

Par rapport au dioxyde d'azote, l'efficacité initiale des filtres rigides était comprise entre 60 et 90 % (figure 8a). Les résultats des mesures ne permettent pas d'observer facilement une relation entre l'efficacité de filtration et les conditions de température et d'humidité relative de l'air. Après 7,5 mois d'utilisation (figure 8b), les filtres rigides semblent plus efficaces lorsque l'air est à la fois plus froid (ce qui signifie qu'il y a un

phénomène d'adsorption physique) et plus humide (réaction de NO<sub>2</sub> avec H<sub>2</sub>O). Ce résultat a été observé à plusieurs reprises au cours de l'étude des filtres rigides (entre juillet 2005 et juin 2006) ainsi qu'au début de l'étude des filtres combinés à poches (figures 9a et 9a). Pour ces derniers, on remarque une plus grande sensibilité de l'efficacité de filtration aux conditions de température et d'humidité relative de l'air.

Les résultats relatifs au NO ne sont pas été présentés ici. Les filtres étudiés se sont révélés inaptes à arrêter le NO et il a été régulièrement observé des quantités de NO plus importantes en aval des filtres qu'en amont. S'il est possible d'expliquer ce résultat par un phénomène de transformation chimique du NO<sub>2</sub> en NO, les conditions qui favorisent ce phénomène sont pour le moment inexplicables et encore à l'étude.

### Qualité de l'air intérieur

L'utilisation des filtres moléculaires a permis d'améliorer la qualité de l'air intérieur de l'immeuble de bureaux ventilé à l'aide de la centrale de traitement d'air dans laquelle les filtres étudiés étaient installés [7]. Il a été montré (résultats non présentés ici) que le rapport I/O (concentration intérieure / concentration extérieure) est plus faible avec l'utilisation des filtres moléculaires que sans. Ainsi pour l'ozone, le rapport I/O est égal à (valeur minimum obtenue en cours de journée) 0,4 sans filtre moléculaire, 0,2 avec les filtres rigides neufs et 0,15 avec les filtres combinés neufs.

## L'influence des conditions de température et d'humidité de l'air sur l'efficacité des filtres est très variable d'un polluant à l'autre."

phénomène d'adsorption physique) et plus humide (réaction de NO<sub>2</sub> avec H<sub>2</sub>O). Ce résultat a été observé à plusieurs reprises au cours de l'étude des filtres rigides (entre juillet 2005 et juin 2006) ainsi qu'au début de l'étude des filtres combinés à poches (figures 9a et 9a). Pour ces derniers, on remarque une plus grande sensibilité de l'efficacité de filtration aux conditions de température et d'humidité relative de l'air.

### Conclusion

Les résultats originaux obtenus au cours de cette étude montrent le comportement en utilisation réelle de filtres moléculaires de ventilation des bâtiments vis-à-vis de polluants typiques de l'air des grandes villes (ozone et oxydes d'azote). L'efficacité des filtres étudiés dépend de leurs caractéristiques (en particulier la quantité et les caractéristiques des charbons actifs) et peut varier considérablement au cours d'une même journée en fonction des variations de température et d'humidité relative de l'air. L'influence de ces variations a été bien identifiée en ce qui concerne l'aptitude des filtres à

arrêter l'ozone. Pour le dioxyde d'azote, si des tendances ont pu être relevées, les conclusions ne peuvent pas être aussi franches. L'identification d'un lien possible entre l'efficacité de filtration et la température et l'humidité relative de l'air ne signifie pas que d'autres paramètres n'ont pas d'influence (présence d'autres polluants, état d'encrassement des filtres, etc.). L'influence des conditions de température et d'humidité de l'air sur l'efficacité des filtres est très variable d'un polluant à l'autre, ce qui rend difficile la conception d'un filtre apte à capter efficacement tous les polluants simultanément. Les méthodes et techniques présentées ici peuvent être utilisées pour la vérification des performances en utilisation réelle de filtres moléculaires de ventilation générale. ■

#### Remerciements

Cette étude a été financée par les industriels fabricants de filtres membres de la commission Technique filtration du Cetiat. Nous remercions tout particulièrement les sociétés France Air et Camfil Farr pour la fourniture des filtres.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 F. H. Shair, *Relating Indoor Pollutant Concentrations of Ozone and Sulfur Dioxide to Those Outside: Economic Reduction of Indoor Ozone Through Selective Filtration of the Make-Up Air*. ASHRAE Transactions, 1, 116-139, 1981.
- 2 H. C. Shields, C. J. Weschler et D. Naik, *Ozone Removal by Charcoal Filters After Continuous Extensive Use (5 to 8 Years)*. AIVC, 20th Annual Conference, Ventilation and Indoor Air Quality in Buildings, Édimbourg, Royaume-Uni, 9-13 août 1999.
- 3 C. J. Weschler, H. C. Shields et D. V. Naik, *An Evaluation of Activated Carbon Filters for the Control of Ozone, Sulfur Dioxide and Selected Volatile Organic Compounds*. ASHRAE IAQ'92 Conference, Environments for People, San Francisco, États-Unis, 18-21 octobre 1992.
- 4 C. J. Weschler, H. C. Shields et D. V. Naik, *Ozone Removal Efficiencies of Activated Carbon Filters After More Than Three Years of Continuous Service*. ASHRAE Transactions, 2, 1121-1129, 1994.
- 5 K. Partti-Pellinen, O. Marttila, A. Ahonen, O. Suominen et T. Haahtela, *Penetration of Nitrogen Oxides and Particles from Outdoor into Indoor Air and Removal of the Pollutants Through Filtration of Incoming Air*. *Indoor Air*, 10, 126-132, 2000.
- 6 L. E. Ekberg et O. Strindehag, *Long-Term Testing of Gas Adsorption Filters for Ventilation Systems*. AIVC, 20th Annual Conference, Ventilation and Indoor Air Quality in Buildings, Édimbourg, Royaume-Uni, 9-13 août 1999.
- 7 A. Ginestet et D. Pugnet, *The Real Life Efficiency of Gas Phase Filters Used in General Ventilation and Their Influence on the Indoor Air Quality*. AIVC, 27th Annual Conference, Technologies & Sustainable Policies for a Radical Decrease of the Energy Consumption in Buildings, Lyon, France, 20-22 novembre 2006.