

Composition de l'air intérieur dans les immeubles de bureaux avec introduction d'air centralisée

QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

E. ROHBOCK, H. MÜLLER,
T. ZINGSHEIM
Institut Battelle, Francfort (RFA)



On a mesuré dans des immeubles de bureaux les concentrations de polluants gazeux organiques et non organiques. Les résultats, analysés en vue de l'amélioration de la qualité de l'air intérieur, ont prouvé qu'il n'existe aucune relation simple entre les concentrations de polluants à l'intérieur et à l'extérieur. La recherche d'une corrélation entre les divers polluants et les concentrations en CO₂ dans l'air intérieur a montré que le CO₂ n'est pas un traceur utilisable pour contrôler totalement la « qualité de l'air intérieur » dans les immeubles de bureaux.

Des recherches ont été menées dans des immeubles de bureaux afin de déterminer les points faibles à l'origine d'une mauvaise qualité de l'air intérieur et de définir une procédure générale pour optimiser le conditionnement d'air par rapport à la qualité de l'air interne.

La qualité de l'air interne dans les bâtiments conditionnés dépend des facteurs suivants :

- 1) composition de l'air ambiant extérieur
- 2) taux de ventilation lié à la dilution
- 3) rendement des appareils de purification de l'air
- 4) sources internes des polluants de l'air.

Dans le cas où tous ces paramètres seront optimisés, la qualité de l'air à l'intérieur sera certainement meilleure que la qualité de l'air à l'extérieur du bâtiment. Ceci signifie que le bâtiment agit comme une sorte de protection contre les polluants atmosphériques, par exemple pendant les périodes d'intense pollution atmosphérique telles que certaines situations météorologiques hivernales accompagnées de « smog ».

L'optimisation des systèmes de conditionnement d'air requiert une connaissance approfondie des paramètres mentionnés ci-dessus. Cela exige de mesurer la composition de l'air à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.

Depuis 1985, un groupe de scientifiques de l'institut Battelle de Francfort, RFA, effectue des mesures et fait des études d'optimisation dans ce domaine.

Il a été constaté qu'une coopération directe avec l'équipe chargée de la maintenance de la climatisation s'avère nécessaire et efficace pour déceler les points faibles de l'installation.

oxydes d'azote (NO, NO₂) monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures totaux, dioxyde de carbone (CO₂) ainsi que les composés organiques volatils (COV). Toutefois, dans certains cas, par exemple quand l'ameublement est neuf, le formaldéhyde (CH₂O) doit également être mesuré.

Outre les mesures chimiques, les paramètres climatiques, comme l'humidité relative et la température de l'air, doivent être déterminés.

La stratégie des mesures pour visualiser globalement le résultat des recherches consiste à mesurer de façon continue les polluants de l'air dans chaque local sur une période de 24 h. Les résultats obtenus par cette stratégie ont fourni des renseignements sur :

- a) l'augmentation des polluants produits par les occupants pendant les heures de travail,
- b) l'augmentation des polluants durant la nuit lorsque les taux de ventilation sont réduits et que le conditionnement d'air est arrêté.

Pour permettre la comparaison, la recherche doit inclure des mesures discontinues des concentrations dans l'air extérieur.

Localisation des points de mesures

Les points de mesure à l'intérieur des bureaux doivent représenter les conditions moyennes des locaux. En général, l'air a été échantillonné à l'endroit du poste de travail ou d'un bureau situé au milieu du local à 1,5 m au-dessus du sol. Les instruments de mesure sont placés sur des tables mobiles à proximité du point de prélèvement. Il faut veiller à ce que les conditions naturelles générales (écoulement de l'air, conditions de travail) ne soient pas perturbées par le dispositif de mesure.

Méthodes de mesure

Les mesures des polluants atmosphériques sont effectuées par les méthodes normalisées utilisées à l'extérieur, décrites dans l'ouvrage allemand « VDI - Handbuch, Reinhaltung der Luft [1] ». Les méthodes utilisées pour les mesures à l'intérieur ont été les suivantes :

Détermination de la pollution atmosphérique

Stratégie des mesures

Pour visualiser les recherches, il est apparu qu'un compromis acceptable consiste à analyser les polluants suivants : dioxyde de soufre (SO₂),

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Handbuch Reinhaltung der Luft*, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [2] ASHRAE 62-1981, *Ventilation for acceptable indoor air quality*.
- [3] Jost D. Staub-Reinh. *Luft* 44 (3), 137-139, 1984.
- [4] Rohbock E. et al. *Gesundheitsingenieur* 108 (6), 269-276, 1987.
- [5] Sautter L. *HLH* 38 (8), 401-405, 1987.
- [6] Ranscht-Froemsdorff, *Ki Klima-Kälte-Heizung* 5/87, 222-225, 1987.

SO ₂	Méthode par conductivité	VDI 2451/4
NO/NO ₂	Méthode par chimie luminescence	VDI 2452/5
CO	Absorption infrarouge non dispersive	VDI 2455
CO ₂	Absorption infrarouge non dispersive	VDI 2455
hydrocarbures totaux	Détecteur à ionisation de flamme	VDI 3483/1
COV	Adsorption sur charbon actif et analyse après désorption liquide avec spectrométrie de masse	VDI 3482
CH ₂ O	et détecteur à ionisation de flamme	
	Adsorption sur silicate, analyse photométrique après désorption liquide	

Résultats

Concentrations mesurées

Les résultats liés à la qualité de l'air intérieur dans les bureaux sont illustrés à l'aide de deux exemples. Chacun des bâtiments présente des conditions particulières.

• Bâtiment A

Les systèmes de ventilation de ce bâtiment neuf fonctionnent à charge maximale (taux de renouvellement d'air jusqu'à 6) avec apport total d'air neuf. Les appareils de pulvérisation d'eau de l'installation de filtration d'air ne sont pas en fonctionnement.

• Bâtiment B

Les systèmes de ventilation de ce bâtiment vieux de 15 ans sont pilotés par ordinateur. Pendant la nuit, la ventilation est arrêtée. Pendant les heures de travail, le conditionnement d'air fonctionne avec un apport total d'air neuf. Un dispositif de récupération de chaleur est installé.

Les recherches dans les deux bâtiments ont été conduites dans des

conditions météorologiques similaires pendant la saison de chauffe, en hiver.

La figure 1 donne un exemple des tendances journalières des concentrations de polluants dans le bâtiment A. Les mesures ont commencé à 17 h et se sont poursuivies le jour suivant jusqu'à 16 h. Le soir, après les heures de travail, les concentrations minimales sont enregistrées après minuit. Dans la matinée, les concentrations augmentent et les valeurs maximales sont atteintes aux environs de midi. Les concentrations extérieures, mesurées deux fois par jour, sont inférieures aux concentrations intérieures. Les niveaux de concentration extérieure du CO₂ sont du même ordre que celui trouvé durant la nuit à l'intérieur du local. Cela démontre que l'élévation de concentration du CO₂ est restreinte à l'environnement intérieur. Une autre tendance apparaît évidente pour NO_x. Les concentrations intérieures élevées durant la journée sont principalement causées par des concentrations extérieures élevées et par la pénétration d'air extérieur pollué. Les concentrations extérieures en NO_x sont légèrement en dessous des concentrations intérieures.

Les tendances des concentrations dans le bâtiment B sont déterminées par les taux de ventilation (fig. 2). Pendant la nuit, quand les installations de conditionnement d'air sont hors-service, les concentrations se maintiennent à un niveau élevé. Au redémarrage de la ventilation, tôt le matin, les concentrations s'abaissent assez rapidement. C'est seulement dans quelques cas (NO₂) que l'on trouve une augmentation dès que l'on introduit de l'air extérieur pollué. Les concentrations maximales à l'intérieur du bâtiment sont constatées entre 9 h et 10 h pour tous les polluants.

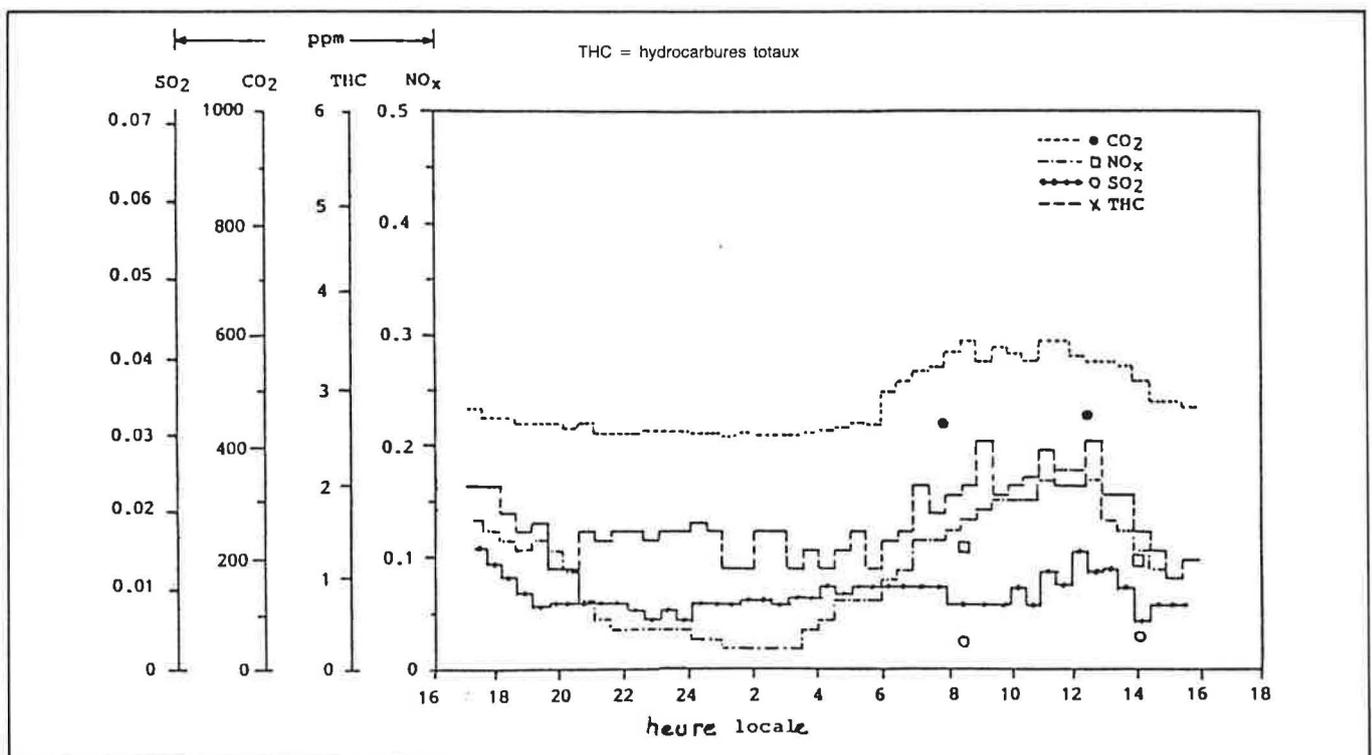
Comparaison avec les normes internationales

A l'heure actuelle on ne dispose pas de valeurs limites pour les concentrations de polluants trouvées dans les immeubles de bureaux. Les valeurs TLV (1) ou MAK (2) définies pour les postes de travail dans les industries de production, ne sont pas directement applicables. Les normes données par l'Ashrae [2] font état de recommandations sur les taux de ventilation assurant une qualité d'air intérieur acceptable. La désignation « Qualité d'Air Intérieur Acceptable » a été définie par la

(1) Threshold Limit Value, valeur-seuil définie par The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (limite moyenne au-dessous de laquelle on peut admettre que la presque totalité des travailleurs peut être exposée jour après jour sans effet néfaste).

(2) Maximal Arbeit Platz Konzentration, quantité de vapeur nocive par m³ d'air respiré que peuvent supporter sans préjudice pour leur santé les ouvriers travaillant 8 h/jour (une substance présentant une valeur MAK faible est plus nocive qu'une valeur MAK élevée).

Fig. 1. Tendances des concentrations intérieures dans le bâtiment A.



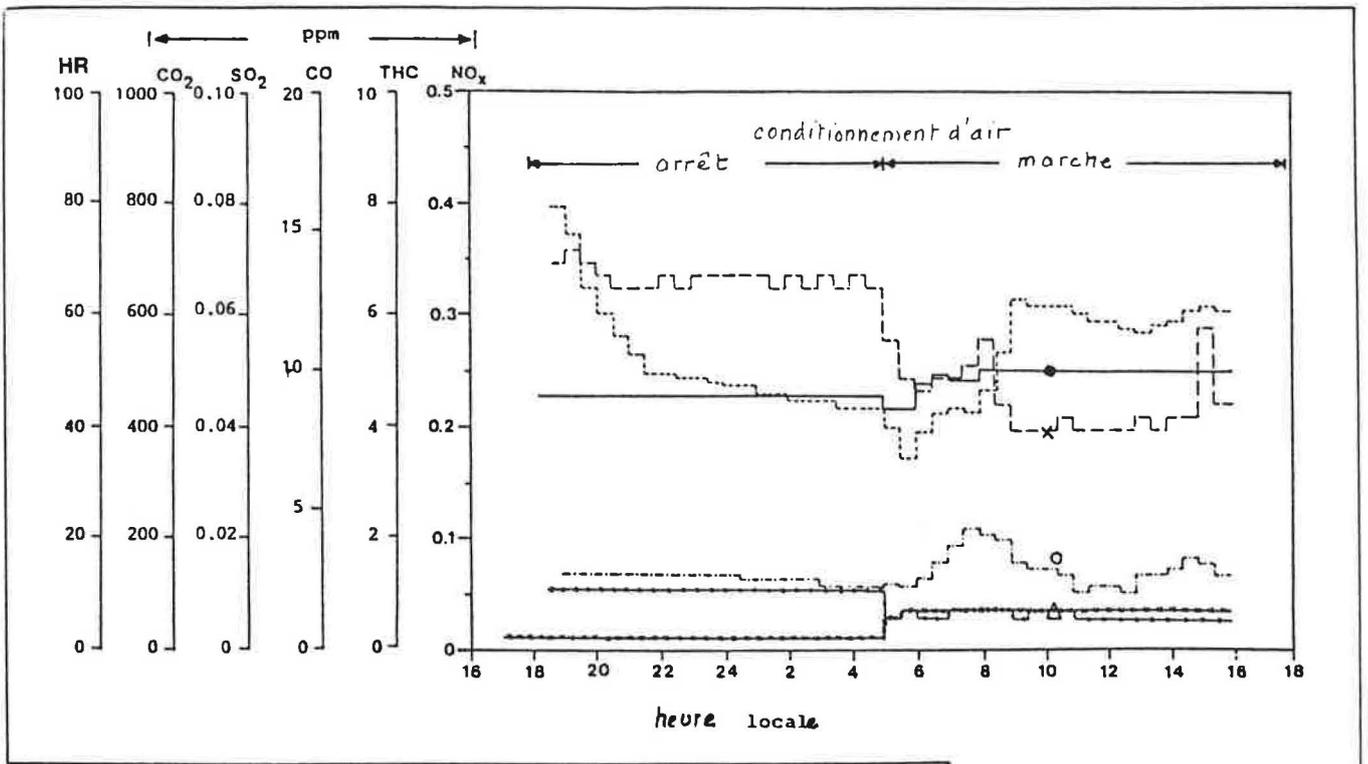
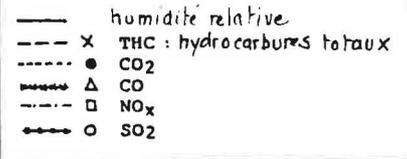


Fig. 2. Tendances des concentrations intérieures dans le bâtiment B.



norme en concordance avec les normes nationales et internationales relatives aux valeurs limites de l'air extérieur. Si aucune valeur limite n'est disponible, l'Ashrae recommande de prendre 1/10 des valeurs TLV ou MAK comme limite pour les bureaux.

Les figures 3 et 4 comparent les concentrations mesurées de SO₂ et CO₂ avec les valeurs limites de ces polluants pour une période courte (exposition inférieure à 8 h) et pour une période longue (exposition supérieure à 8 h). Les valeurs limites pour une

période courte sont comparées à la concentration moyenne maximale pour une demi-heure, mesurée dans les divers locaux des bâtiments A et B. On compare ensuite les concentrations moyennes quotidiennes avec les valeurs limites pour une période longue.

Les concentrations en SO₂ dans le bâtiment B indiquent une plus grande variabilité et des valeurs de pointe plus élevées que les données relevées dans le bâtiment A. Dans les deux cas, toutes les valeurs sont en dessous des valeurs limites. On trouve un tableau

comparable pour les concentrations en CO₂. Dans tous les cas, les concentrations intérieures sont au-dessus des niveaux de concentration extérieure enregistrés dans les zones polluées [3]. La limite la plus restrictive de 1 000 ppm, définie par l'Ashrae [2], n'est pas dépassée.

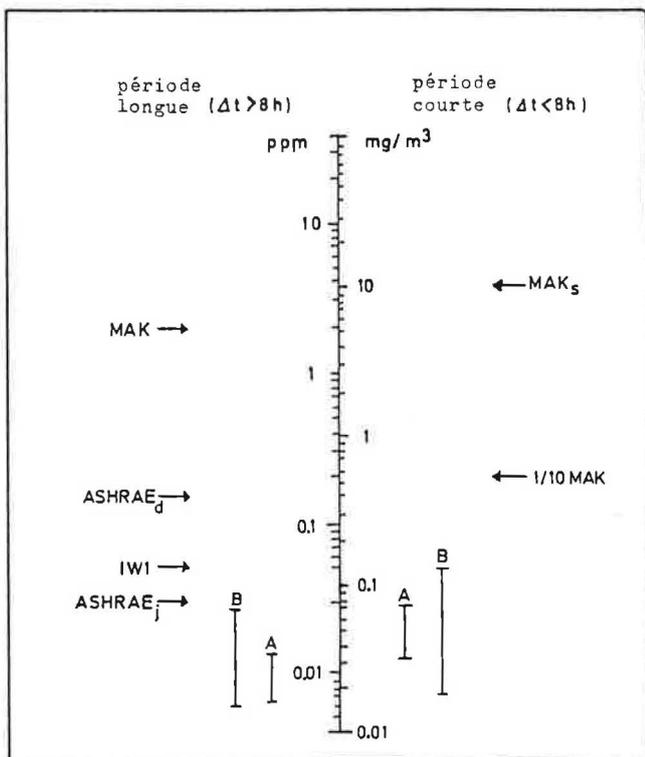
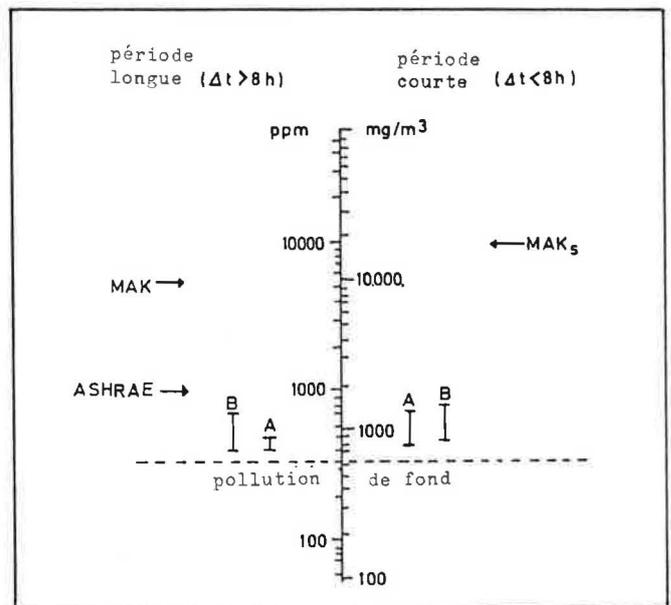


Fig. 3. Concentrations de dioxyde de soufre par rapport aux valeurs limites.

Fig. 4. Concentrations de gaz carbonique par rapport aux valeurs limites.



Relation entre les concentrations intérieures et extérieures

La comparaison des concentrations intérieures et extérieures données au tableau I indique, que pour certains polluants (NO, CO₂), les concentrations intérieures dépassent les concentrations extérieures. Pour d'autres polluants (NO₂, SO₂), les concentrations intérieures sont plus faibles que les concentrations extérieures. Les concentrations plus basses des espèces polaires s'expliquent par l'effet de purification de l'air dû aux unités de pulvérisation d'eau. Seul le cas où les unités de pulvérisation d'eau ne sont pas en fonctionnement implique des concentrations intérieures en SO₂ supérieures aux concentrations extérieures — ce qui se produit dans le bâtiment A (tableau I).

Polluant	Bâtiment A	Bâtiment B
NO max	—	+ 0,025
NO min	—	+ 0,003
NO ₂ max	—	- 0,035
NO ₂ min	—	- 0,008
NO _x max	+ 0,050	—
NO _x min	- 0,015	—
SO ₂ max	+ 0,012	- 0,004
SO ₂ min	- 0,004	- 0,017
CO ₂ max	+ 218	+ 164
CO ₂ min	± 0	+ 111
THC max	+ 2,7	+ 0,7
THC min	0,0	- 1,1

Tableau I. Différences maximales et minimales des concentrations intérieures de polluants comparées aux concentrations extérieures (valeurs données en ppm).

Les concentrations en hydrocarbures totaux indiquent des tendances variables. Des sources et émissions intérieures locales peuvent être la cause de concentrations intérieures élevées.

La distribution des concentrations en composés organiques volatils est extrêmement variable. Le point d'introduction de l'air pour chacun des bâtiments et la présence à proximité de sources extérieures locales, telles que stations-service situées dans le vent du bâtiment, peuvent conduire à une augmentation des concentrations extérieures.

La recherche faite dans le bâtiment A, par exemple, montre des périodes de concentration extérieure plus élevée tandis que les concentrations intérieures n'augmentent pas. Cela indique que, dans ce cas, les composés organiques ne pénètrent pas dans le bâtiment.

On a déterminé la situation inverse pour le bâtiment B. On a trouvé des concentrations accrues de composés aromatiques (toluène, xylène) et d'alcanes dans presque tous les locaux. Le toluène a atteint jusqu'à 0,47 mg/m³, valeurs plus élevées que celles mesurées à l'extérieur. On a supposé que, dans ce cas, il existe des sources

	Pièce	NO	NO _x	NO ₂	SO ₂	THC	CO
Bâtiment A	2.00.08		0,42		0,68	0,87	
	2.10.13		0,85		0,36	0,35	
	2.10.13		0,80		0,63	0,61	
	2.10.13		0,65		0,56	0,39	
	3.10.01		0,82		0,08	0,88	
	4.10.01		0,86		0,39	0,75	
	5.30.01		0,46		0,91	0,86	
	6.10.01		0,05		0,23	0,83	
	1.00.27		0,71		0,30	0,05	
	1.00.27		0,81		0,18	0,91	
	1.00.27		0,70		0,68	0,52	
Bâtiment B	21	0,36		0,43	0,59	0,61	0,57
	6,28	0,18		0,13	0,15	0,20	0,73
	6-W	0,93		0,14	0,28	0,66	0,54
	6-W	0,52		0,29	0,50	0,76	0,45
	6-W	0,52		0,15	0,32	0,37	0,60
	1-N	0,66		0,38	0,37	0,86	0
	1-W	0,31		0,27	0,23	0,51	0,02

Tableau II. Coefficient de régression linéaire des concentrations de polluants relatives aux concentrations de dioxyde de carbone.

d'émission internes locales impossibles à identifier. Des études plus approfondies seront nécessaires.

Détermination des facteurs d'augmentation des concentrations de polluants dues aux occupants

L'accroissement maximal des concentrations intérieures durant les heures de travail a été corrélé au nombre de personnes par local afin d'obtenir le « facteur d'enrichissement dû au personnel » [4].

Le FEP est un paramètre précieux pour évaluer la densité d'occupation. Ses valeurs maximales sont pour le bâtiment A :

- dioxyde de carbone 4,400 ppm/pers.
- oxydes d'azote 0,001 ppm/pers.
- hydrocarbures totaux 0,050 ppm/pers.

Ces données sont spécifiques à ce bâtiment et pour des conditions limites comme celles du taux de ventilation, du volume total du local, du pourcentage de fumeurs dans le personnel.

Corrélation du CO₂ avec les autres polluants

Les ingénieurs en conditionnement d'air cherchent à avoir des composés facilement mesurables en tant que traceurs de la « qualité de l'air intérieur », prise dans sa totalité, leur permettant de régler les systèmes de conditionnement d'air [5], [6].

Dans le but de déterminer si un traceur est fiable pour les bâtiments de bureaux climatisés, des corrélations ont été établies entre les concentrations de polluants mesurées et les concentrations en CO₂.

Les figures 5, 6 et 7 donnent des exemples de la corrélation linéaire de SO₂/CO₂, NO_x/CO₂ et hydrocarbures totaux/CO₂ en se basant sur les

concentrations moyennes pour une période d'une demi-heure. Le coefficient de corrélation le plus élevé (0,86), pour ce cas spécifique, a été trouvé pour la corrélation NO_x/CO₂. Le coefficient de corrélation le plus bas (0,38) a été trouvé pour la corrélation SO₂/CO₂.

Le tableau II résume les coefficients de corrélation résultant des études effectuées dans les bâtiments A et B.

Les valeurs varient entre 0,0 (pas de corrélation) et 0,93 (forte corrélation). Pour un même local et pour une faible variation du taux de ventilation, on a pu trouver des variations élevées d'un jour sur l'autre. La conclusion de cette investigation est que la concentration en CO₂ n'est pas un paramètre utilisable pour décrire la qualité globale de l'air intérieur des bureaux climatisés.

Conclusions

Afin d'optimiser la qualité de l'air intérieur, il est essentiel que les mesures soient effectuées pour chaque bâtiment.

Pour améliorer la qualité de l'air intérieur, il faut minimiser la pénétration des polluants dans les bâtiments. Les pulvérisateurs des systèmes de purification de l'air sont des dispositifs efficaces pour éliminer de l'air les gaz polaires tels que NO₂ et SO₂. En hiver, quand la concentration extérieure augmente, en raison des émissions dues à la combustion, il faut assurer un fonctionnement optimal des dispositifs de pulvérisation. Les pulvérisateurs sont moins efficaces pour les gaz moins polaires tels que NO et CO, qui, par conséquent, pénètrent facilement dans le bâtiment. Afin de maintenir les concentrations de ces gaz au minimum, il convient d'appliquer, lors des périodes de concentrations élevées à l'extérieur du bâtiment, le taux de renouvellement d'air neuf le plus bas possible encore acceptable. ■

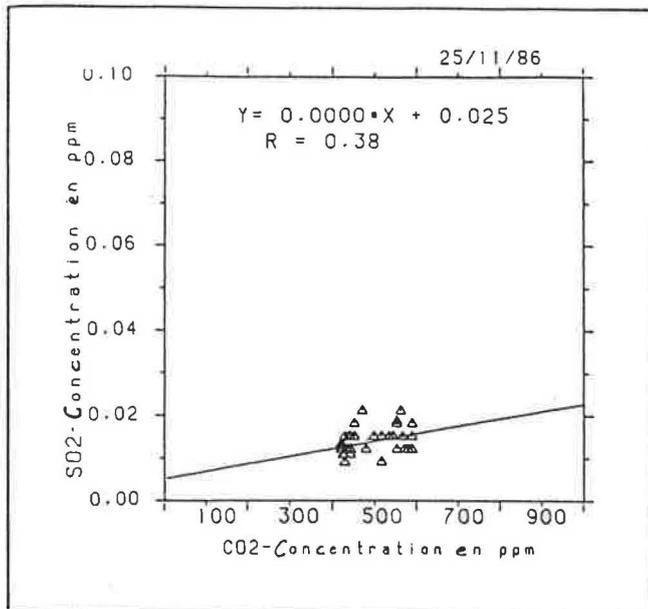


Fig. 5. Régression linéaire des concentrations en SO_2/CO_2 à l'intérieur.

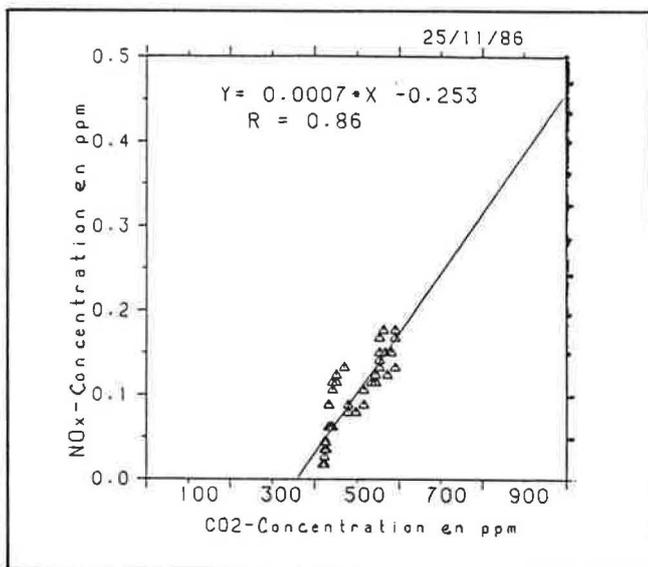


Fig. 6. Régression linéaire des concentrations en NO_x/CO_2 à l'intérieur.

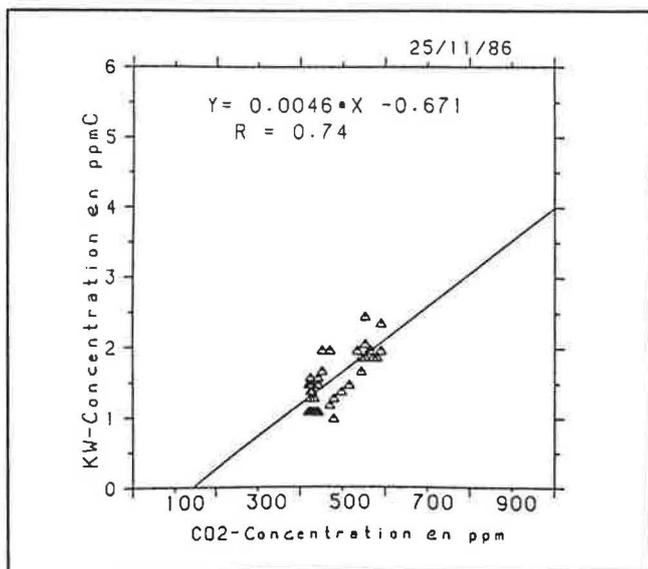
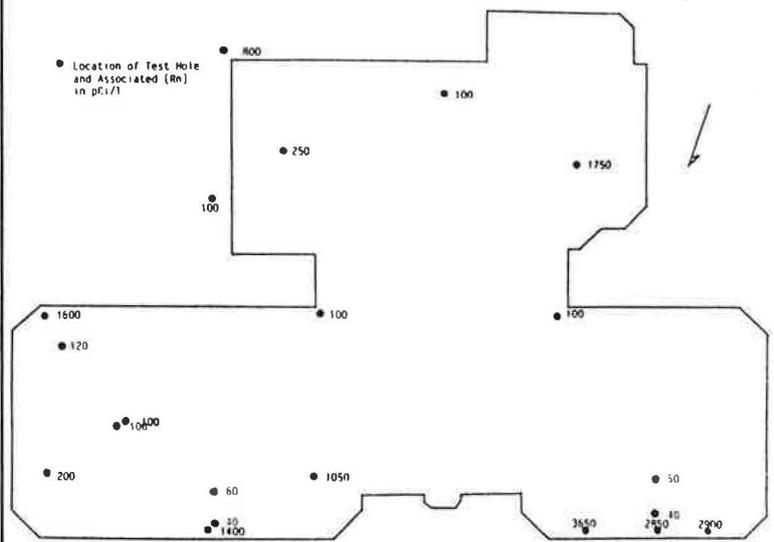


Fig. 7. Régression linéaire des concentrations en hydrocarbure totaux / CO_2 à l'intérieur.

Le radon, un problème latent dans le Comté de Fairfax (Virginie - USA)

Selon un article de Matthew McCANN, publié dans la revue « Air Conditioning, Heating and Refrigeration News », du 9 mai 1988, le comté de Fairfax est concerné par la présence de radon et par le risque cancérigène dû à ce gaz.

En effet, 128 écoles sont plus ou moins affectées par la présence de radon. Une équipe de l'Agence de protection de l'environnement (EPA) a effectué des mesures dans l'école la plus récente. Des sondages de 1 mètre de profondeur, réalisés par le US Geological Survey, ont libéré des gaz dont la teneur en radon variait de 200 à 4 300 picocuries par litre ; le niveau acceptable étant de 4 pCi/l. Après une mise à niveau du terrain, une seconde série de mesures fut effectuée avant le coulage d'une dalle de béton sur terre-plein. Les résultats s'échelonnèrent de 100 à 3 650 pCi/l, avec une valeur supérieure à 1 000 pCi/l pour 50 % des forages. Le comté de Fairfax a utilisé 2 antidotes : la construction et la ventilation.



Les teneurs en radon, mesurées en juillet 1987, ont été comprises entre 100 et 3 650 picocuries par litre (4 pCi/l est la limite de sécurité). Ces mesures ont été effectuées avant le coulage de la dalle sur terre-plein et sont repérées par des points noirs. Une autre série de mesures a été effectuée en mars 1988, 7 mois et demi après le coulage de la dalle : la teneur pour un trou chuta à 40 pCi/l alors qu'elle était de 2 850 à l'origine.

Construction

La dalle de béton a été coulée sur un lit de 10 cm de cailloux recouvert de plastique, afin de constituer un milieu sous dalle susceptible d'être ventilé à l'avenir. Le joint entre dalle et murs a été réalisé en polyuréthane et les pénétrations pour tuyauteries ont été étanchées dans toute la mesure du possible. Les éléments de béton des parois verticales ont été enduits d'un revêtement expérimental étanche au radon qui pourrait provenir d'un cheminement à travers les corps creux. Huit forages pratiqués à travers la dalle en septembre 1987 ont émis des gaz sous dalle dont les teneurs en radon s'échelonnèrent de 40 à 400 pCi/l. Dix-sept forages supplémentaires, exécutés en décembre 1987, donnèrent des teneurs de 5 à 375 Pci/l.

Pressurisation et purge

Le système de ventilation est conçu de façon à pressuriser l'intérieur du bâtiment pour éviter la pénétration des gaz venant du sol. Si cette technique s'avérait insuffisante, la technique suivante, déjà employée dans d'autres écoles, sera utilisée.

La dalle est perforée, cette perforation étant reliée par un conduit d'air à un ventilateur d'extraction placé en toiture. L'air est extrait ainsi de la périphérie de la dalle vers le centre à travers le lit de cailloux. Cet air extrait élimine le radon présent sous la dalle de béton.

Cliff Phillips, directeur des services d'entretien des écoles du comté de Fairfax a donné un exemple de résultat obtenu : « Une de nos écoles a été fermée durant 5 jours de vacances en milieu d'année scolaire. A la réouverture, la teneur en radon était de 21 pCi/l. Le ventilateur d'extraction fut alors mis en fonctionnement, aspirant dans la sous-dalle ; en 2 heures, la teneur en radon chuta à 4 pCi/l ».