



Office fédéral de l'énergie

3003 Berne

## RAPPORT ANNUEL 2000

Pour les travaux de recherche définis dans le mandat:

**Titre du projet:**

**ATEMAC – Application des Traceurs Passifs pour l'Étude des Mouvements d'Air et de Contaminants**

No OFEN 19 063

**Résumé:**

Les gaz traceurs sont utilisés en Suisse depuis plus de 10 ans pour mesurer des débits d'air et des taux de ventilation ainsi que pour simuler le mouvement de polluants. Les systèmes disponibles en Suisse sont précis et performants, mais relativement volumineux et coûteux. Ils nécessitent de plus un temps de mise en œuvre relativement important. L'objectif général du projet est de développer une méthode de mesure des débits d'air simple, efficace et peu coûteuse.

L'objectif initial était d'introduire en Suisse une méthode développée au Brookhaven National Laboratory. Des mesures effectuées à l'EMPA ont montré cependant que les traceurs utilisés s'adsorbent de manière imprévisible sur les matériaux et le mobilier, ce qui introduit une sur-estimation importante des débits d'air.

Le plan de recherche a été réorienté en 2000 pour explorer trois autres voies possibles:

1. Méthode de l'aérosol, utilisant un compteur de particules par photo-ionisation
2. Recherche et évaluation de nouveaux types d'analyseurs
3. Utilisation d'enregistrements de concentration de CO<sub>2</sub>.

Les deux premières voies ont pour but d'évaluer des méthodes de mesure de la concentration en traceur, et la troisième conduit à faciliter l'interprétation des mesures de concentration.

**Durée du projet:**

1.1.1998      au      31.03. 2001

**Mandataire:**      Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment EPFL

**Rapporteur:**      Claude-Alain Roulet

**Adresse:**      LESO-PB, EPFL, CH 1015 Lausanne

**Téléphone:**      (021) 693 45 57      **Télécopie**      (021) 693 27 22

**Email:**      [clauderoulet@epfl.ch](mailto:clauderoulet@epfl.ch)      **Web**      [lesowww.epfl.ch](http://lesowww.epfl.ch)

# 1 Introduction

Avec l'amélioration de l'isolation thermique, la quantité d'énergie nécessaire à l'aération des bâtiments devient relativement de plus en plus importante. Une meilleure connaissance des débits d'air effectif permet d'assurer une ventilation suffisante sans gaspillage.

Les systèmes mesurant les débits d'air à l'aide de gaz traceurs disponibles en Suisse sont précis et performants, mais relativement volumineux et coûteux. Il est notamment exclu d'effectuer des centaines de mesures, donc d'obtenir par exemple des informations statistiques sur l'état actuel des bâtiments, à un prix raisonnable.

Les mesures préliminaires ayant été jugées intéressantes, le contrat 19063 a été signé pour développer l'usage des traceurs perfluorés (méthode PFT) [1], qui permettent une injection par diffusion avec de petites sources autonomes et une détection en très faible concentration par accumulation dans des capteurs passifs.

Les études faites dans le cadre de ce contrat ont malheureusement montré que cette méthode, pourtant utilisée dans d'autres pays, est en fait inutilisable [2], [3]. Une partie importante et variable du gaz traceur est adsorbée par les matériaux présents dans les locaux mesurés, ce qui conduit à une surestimation importante et incontrôlable des débits d'air.

Le projet a donc été modifié, en maintenant l'objectif initial qui est de développer une méthode de mesure simple, bon marché et efficace des débits d'air dans les bâtiments.

## 2 Objectifs 2000

Trois voies sont explorées depuis le 26 mai 2000

1. Méthode de l'Aérosol, utilisant un compteur de particules par photo-ionisation
2. Recherche et évaluation de nouveaux types d'analyseurs
3. Utilisation d'enregistrements de concentration de CO<sub>2</sub>.

L'objectif est de déterminer si l'une ou plusieurs de ces possibilités est utilisable et, si oui, de l'amener autant que possible vers une application pratique.

## 3 Travaux effectués et résultats

### 3.1 Méthode de l'Aérosol

Le Prof. B. Keller et ses collaborateurs à l'Institut für Hochbautechnik de l'ETH Zürich ont développé la méthode dite "PAH<sup>1</sup>" pour mesurer les débits d'air extérieur dans les bâtiments. Cette méthode a l'avantage de nécessiter une instrumentation simple: Un analyseur par photo-ionisation [4] mesure la concentration en particules de suie générées par le trafic automobile. Cette concentration varie avec le temps, et les variations à l'intérieur du bâtiment, résultat de l'infiltration d'air, sont en retard par rapport aux variations à l'extérieur. Une analyse en composantes spectrales des variations de concentration dans l'air intérieur et extérieur permet, sous certaines conditions, de mesurer le débit d'air d'infiltration [5].

La méthode a été testée dans le même bureau que celui utilisé pour tester la méthode PFT. Un taux de renouvellement d'air extérieur de 1 par heure a été imposé par un petit ventilateur électrique installé dans une fenêtre. L'air ainsi introduit induit une exfiltration de l'air vicié par le pas de la porte du bureau. La concentration en suie a été mesurée et enregistrée toutes les 10 secondes à l'intérieur et à l'extérieur, à l'aide de deux appareils à photo-ionisation. Un gaz traceur classique était injecté simultanément, à débit constant, dans le flux d'air frais près du ventilateur.

La mesure par gaz traceur permet de vérifier le débit d'air extérieur injecté dans le bureau. Une analyse en composante spectrale des enregistrements des deux appareils à photo-ionisation a été effectuée, à l'aide d'un logiciel développé par l'Institut für Hochbautechnik.

---

<sup>1</sup> Polycyclic aromatic hydrocarbons

Les débits d'air ainsi obtenus ne correspondent pas au débit mesuré par gaz traceur. Suivant la période de temps interprétée et la bande spectrale utilisée, les débits d'air obtenus étaient entre 2 et 30 fois supérieurs au débit réel. Le logiciel d'interprétation a alors été vérifié, et une erreur fondamentale, qui ne peut pas être corrigée par des moyens mathématiques simples, a été détectée. Toutefois, un mélange total de l'air du bureau, par exemple à l'aide d'un second ventilateur, permet de simplifier notablement le problème. Un essai supplémentaire sera effectué en hiver 2000-2001.

### 3.2 Nouveaux types d'analyseurs

Une méthode de diagnostic simple et bon marché doit disposer d'analyseurs de gaz traceur légers, portables, et bon marché. Les capteurs à oxydes métalliques actuels sont petits, légers, suffisamment stables et précis pour permettre de mesurer la concentration de divers composés chimiques oxydables. Leur temps de réaction est de l'ordre de la minute. Ils sont très bon marché si on les compare d'autres analyseurs. La Table 1 donne la sensibilité de quelques uns de ces détecteurs.

Table 1: Sensibilité de quelques détecteurs utilisables pour les techniques de gaz traceurs (*Capteur Sensors & Analysers Ltd*).

Gas	Range
Butane	0 - 1%
Ethanol	0 - 1000ppm
Ethylene	0 - 1000ppm
Heptane	0 - 1000ppm
Hexane	0 - 1000ppm
Iso Propyl Alcohol	0 - 200ppm
Toluene	0 - 500ppm
VOCs	0 - 10ppm

Ils ont l'inconvénient d'être un peu sensibles à l'humidité et peu sélectifs. Ainsi, la présence de vapeurs organiques autres que le gaz traceur utilisé peut perturber la mesure. Toutefois, la concentration en VOC dans les bâtiments dépasse rarement 2 mg/m<sup>3</sup> [6], soit 2 ppm si on admet une densité de 1 kg/m<sup>3</sup>, et moins pour les molécules plus lourdes. Ces capteurs sont utilisés pour régler des installations de ventilation (ventilation à la demande), mais leur usage pour ce type de mesure doit encore être testé.

### 3.3 Gaz carbonique

On trouve sur le marché des analyseurs de gaz carboniques simples, pratiques (ils enregistrent les concentrations en fonction du temps) et à un prix abordable. Le gaz carbonique est naturellement présent dans l'air extérieur, à une concentration de base de 360 ppm en campagne. Dans les villes, cette concentration est plus élevée et peut atteindre 600 ppm. À l'intérieur, les habitants, les animaux et les gazinières produisent du CO<sub>2</sub>, ce qui augmente la concentration. Dans les bâtiments correctement aérés, cette concentration ne devrait toutefois pas dépasser 2000 ppm. Des personnes sensibles peuvent avoir des maux de tête à partir de 5000 ppm.

La méthode consiste à interpréter l'évolution de la concentration en gaz traceurs à l'intérieur d'une pièce, en utilisant en principe le CO<sub>2</sub> naturellement présent. Toutefois, si cette concentration est insuffisante pour une mesure précise, il est possible d'en injecter à partir d'une bouteille. Si le débit de la source est connu, le débit d'air d'infiltration peut être calculé à partir de l'enregistrement de la concentration en gaz carbonique [7]. La méthode la plus simple consiste à utiliser les périodes pendant lesquelles il n'y a aucune source de CO<sub>2</sub> dans le volume étudié. Si le débit d'air extérieur est constant, la concentration de CO<sub>2</sub> décroît exponentiellement avec une constante de temps égale à la constante de temps nominale du volume étudié.

Des expériences ont été faites qui montrent la faisabilité de cette méthode. La Figure 1 montre l'évolution de la concentration en CO<sub>2</sub>, enregistrée dans un bureau. Cet enregistrement montre plusieurs période de décroissance, en particulier pendant les nuits.

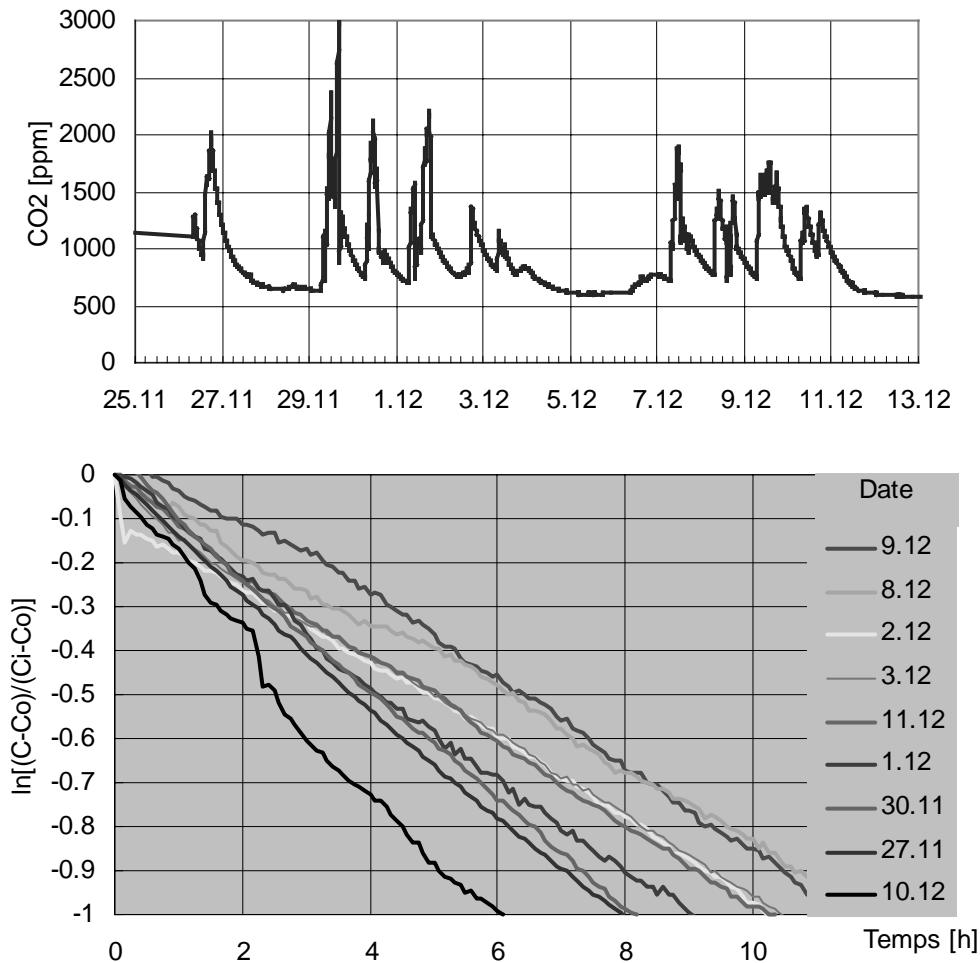


Figure 1: En haut: enregistrement de la concentration en  $\text{CO}_2$  dans un bureau en Novembre. En bas: Représentation des décroissances de concentration sélectionnées, sur un diagramme semi-logarithmique.

Une dizaine de ces périodes de décroissance a été interprétée pour en déduire le taux de renouvellement d'air. Les résultats obtenus varient entre  $0,083 \pm 0,002$  et  $0,146 \pm 0,004 \text{ h}^{-1}$ . La valeur moyenne est de  $0,10 \pm 0,02 \text{ h}^{-1}$ . Les variations entre les différentes périodes de mesure proviennent notamment des variations des conditions climatiques.

Le volume de la pièce étant de  $52 \text{ m}^3$ , le débit d'air extérieur, entrant par la façade et par la porte, est donc de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  environ, ce qui, divisé par l'air de la façade donne un débit d'air spécifique de  $0,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ . Le bureau est situé au deuxième étage de l'immeuble, et est régulièrement soumis à une différence de pression de plusieurs pascals. Ce résultat permet donc de qualifier la façade d'étanche.

## 4 Collaborations

Les travaux dans le cadre de ce projet sont effectués en collaboration entre l'EMPA, Abt. 175 Energiesysteme/Haustechnik, (expériences avec la méthode PAH), l'ETHZ, Institut für Hochbautechnik, (développement et interprétation pour la méthode PAH) et l'EPFL, LESO.-PB (coordination, méthode du  $\text{CO}_2$ , recherche d'analyseurs, logiciels).

## 5 Transfert de connaissances

Les résultats relatifs à la méthode PFT, à savoir le problème d'adsorption des gaz traceurs peu volatils utilisés, ont été présentés dans deux conférences internationales.

## 6 Perspectives

Les essais se poursuivent pour les trois méthodes. De plus, un logiciel d'interprétation sera développé pour faciliter les mesures par décroissance de concentration, que ce soit avec du CO<sub>2</sub> ou un autre gaz. Ce logiciel permettra:

- d'importer des fichiers de mesures de la concentration en fonction du temps
- de tracer le diagramme de concentration en fonction du temps
- de permettre à l'utilisateur de choisir facilement les périodes de décroissance intéressantes
- de calculer la constante de temps nominale et le débit d'air spécifique (taux de renouvellement d'air) pour chaque période sélectionnée
- de déterminer l'incertitude dont ces résultats sont entachés
- d'en calculer la moyenne et l'incertitude globale
- de montrer et d'imprimer un rapport.

## 7 Bibliographie et Publications

1. Dietz, R.N., R.W. Goodrich, and E.A. Cote, *Brookhaven Air Infiltration Measurement System (BNL/AIMS). Description and Application*. 1983, Brookhaven National Laboratory, BNL 33846: Upton, New York, USA. p. 17p.
2. Dorer, V., et al. *Validation tests for a passive tracer gas technique*. in *Air Distribution in Rooms - RoomVent 2000*. 2000. Reading (UK): Elsevier.
3. Gehrig, R., et al. *Are measurements of air change rates with the PFT-method biased by sink effects?* in *Healthy Building*. 2000. Helsinki.
4. Siegmann, K. and H.-C. Siegmann, *The formation of carbon in combustion and how to quantify the impact on human health*. Europhysics News, 1997. **28**(2): p. 50-57.
5. Wilhelm, O. and al. *Traffic born Aerosols as a Tracer Gas for the Determination of External Air Ex-change Rates*. in *10. Internat. Symposium für Bauphysik*. 1999. Dresden.
6. Bluysen, P.M., et al., *European audit project to optimise indoor air quality and energy consumption in office buildings..* 1995: Delft (NL).
7. Roulet, C.-A. and L.Vandaele, *Airflow patterns within buildings - measurement techniques*. AIVC technical note. Vol. 34. 1991, Bracknell, Berkshire RG124AH, GB: AIVC. 265.