



# Ventilation 2012

X<sup>e</sup> Conférence internationale  
sur la ventilation industrielle  
The 10th International Conference  
on Industrial Ventilation

**Paris 2012**

Maison de la Mutualité

**17, 18, 19 Septembre**

**September 17, 18, 19**

[www.inrs-ventilation2012.fr](http://www.inrs-ventilation2012.fr)

 **Recueil des résumés**  
**Abstracts**

**inrs**

Institut National de Recherche et de Sécurité



## Les nouveaux enjeux de la ventilation

La ventilation combinée à l'épuration et la filtration est une technique universelle d'assainissement de l'air d'un espace de vie, d'un lieu de travail ou de l'environnement d'un procédé. Cette technologie de l'air propre, bien qu'étant éprouvée et robuste, doit faire face à de nouveaux enjeux résultant des récentes évolutions techniques et sociétales.

Les connaissances acquises dans les domaines de la santé au travail et de la santé environnementale conduisent aujourd'hui les États à faire évoluer leurs politiques publiques et à réviser la réglementation en matière de gestion du risque d'exposition des populations aux substances dangereuses. Par exemple en Europe, les Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle de nombreux agents chimiques dangereux sont réduites ; pour ne citer qu'un cas, la VLEP du Cr VI intervenant dans le traitement surfacique de nombreux métaux ou polymères sera réduite en France d'un facteur 50 dans les deux prochaines années.

Le développement mondial des nanotechnologies et la production croissante de nanomatériaux manufacturés posent question sur l'exposition associée des salariés à des aérosols nanostructurés dont l'impact potentiel sur la santé est encore mal connu. En application d'une « précaution raisonnée », la mise en place de mesures de prévention rigoureuses s'impose.

Enfin, dans un contexte de raréfaction des énergies fossiles, d'augmentation du coût de l'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments et de leurs systèmes représente un enjeu majeur.

Ces évolutions récentes amènent les professionnels de la ventilation à revisiter les performances des systèmes de ventilation, de captage des polluants, de confinement et de filtration ; ces méthodes de prévention sont-elles suffisantes pour assurer, en toutes circonstances, la santé et la sécurité des populations exposées à la fabrication ou à la dégradation de ces agents chimiques dangereux ? Comment en tenir compte lors de la conception d'un procédé ou d'une machine ? La réduction des émissions à la source et l'intégration d'un système de captage des poussières ou des vapeurs constituent une stratégie classique de prévention tandis que la normalisation reste parallèlement peu explicite en la matière. Que ce soit les machines portatives pour le travail du bois, les finisseurs pour la pose des enrobés sur les routes ou les presses à injecter pour la transformation des matières plastiques, aucun étiquetage réglementaire n'éclaire l'utilisateur sur les quantités de polluants émises par ces matériels.

Dans un autre registre, on constate que la population des sociétés modernes passe plus de 80 % de son temps dans des espaces intérieurs, en étant exposée aux émissions des matériaux de construction et de décoration de ces lieux, de leurs équipements et à celles des activités qui s'y déroulent. Près de 75 % des salariés travaillent dans le secteur tertiaire et une grande partie d'entre eux dans des espaces de bureaux à raison de 8 heures par jour. Ces populations sont donc exposées à de faibles doses de nombreuses substances chimiques durant de longues périodes, éventuellement toute une vie. Parallèlement, les contraintes de réduction des consommations d'énergies fossiles n'ont cessé de réglementer la construction : isolation et étanchéité des enveloppes, gestion du renouvellement d'air, dépendance aux énergies renouvelables. Sur la base de données toxicologiques et épidémiologiques, les pouvoirs publics commencent à définir des « valeurs guides » pour les concentrations des substances chimiques présentes dans les espaces intérieurs. Bien sûr la stratégie d'amélioration de la qualité de l'air intérieur s'appuie en premier lieu sur un choix de matériaux et de produits les moins émissifs, et globalement sur la réduction à la source des émissions. Mais elle passe également par une optimisation des systèmes de ventilation, du dimensionnement et de la mise en œuvre à l'utilisation et la maintenance. Des développements technologiques pour traiter simultanément les contraintes énergétiques et sanitaires doivent dès à présent être engagés et à terme pris en compte dans les futurs codes de la construction. Par ailleurs, le bruit émis et transmis par les systèmes de ventilation doit être réduit.

Enfin, les techniques de confinement initialement développées pour l'industrie nucléaire sont soumises à des tests de robustesse de plus en plus sévères ; elles sont également adaptées pour traiter d'autres applications très sensibles comme la gestion du risque infectieux dans les hôpitaux ou la conception des laboratoires de sécurité pour la manipulation des agents bactériologiques.

Tous ces sujets et enjeux majeurs seront abordés dans le congrès international « Ventilation 2012 » et feront l'objet de conférences invitées, de communications orales et affichées et de plusieurs ateliers. L'INRS a le plaisir de vous inviter à la dixième conférence d'un cycle, initié en 1985 à Ottawa ou par le professeur Goodfellow et aujourd'hui poursuivi en partenariat avec le CSTB et l'OQAI, le CETIAT et l'IRSN. Nous vous accueillons avec plaisir et vous souhaitons des débats fructueux durant ces trois jours à Paris.

**Le co-président de la conférence  
Jean-Raymond FONTAINE**



## New ventilation challenges

Ventilation together with purification and filtration is a universal technique for cleaning the air in homes, workplaces and process environments. But although clean-air technology is tried and proven and certainly robust, it faces new challenges resulting from recent technical and societal developments.

Knowledge acquired in the fields of occupational and environmental health has led States to develop their public policies and revise regulations on the management of their populations' risk of exposure to dangerous substances. In Europe for example, occupational exposure limit values (OELVs) for many dangerous chemicals have been reduced; one such case is the OELV for hexavalent chromium (Cr(VI)) used in the surface treatment of numerous metals and polymers, which will be reduced by a factor of 50 in the next two years.

The global development of nanotechnology and the increasing production of manufactured nanomaterials raise the question of the associated exposure of employees to nanostructured aerosols whose potential health impact is still poorly known. In accordance with the principle of "reasonable precaution", the implementation of rigorous prevention measures is required.

Lastly, in a context of increasingly scarce fossil energy, increase in the cost of energy and reduction of greenhouse gas emissions, improving the energy performance of buildings and their systems is a major challenge.

These recent developments have led ventilation professionals to revisit the performance of ventilation, pollution control, containment and filtration systems; are these prevention methods sufficient for protecting, under all circumstances, the health and safety of populations exposed to the manufacture and degradation of these dangerous chemicals? How can this be taken into account when a process or machine is being designed? The reduction of emissions at the source and the integration of a dust or fume collection system is a classic prevention strategy whereas little is defined as far as standardisation is concerned. There is no labelling regulation that informs the user of the quantity of pollutants emitted by machines whether these are hand-held woodworking tools, road pavers for laying asphalt or injection moulding presses for plastics processing.

On another note, we see that people in modern society spend more than 80% of their time indoors, being exposed to emissions from the construction and decoration materials in these places, emissions from their equipment and from the activities that are conducted there. Almost 75% of employees work in the service sector and a large majority work in offices 8 hours per day. These workers are therefore exposed to low concentrations of numerous chemicals for long periods of time, possibly their entire lifetime. At the same time, fossil energy consumption constraints have continuously regulated building techniques: insulation and tightness of envelopes, management of air renewal, dependence on renewable energy. Using toxicological and epidemiological data, public authorities have begun to define "guideline values" for chemical concentrations inside buildings. Evidently, the strategy to improve air quality draws firstly on selecting the lowest emitting materials and products and generally on reducing emissions at the source. But it also requires the optimisation of ventilation systems, from design and installation to use and maintenance. Technological developments for simultaneously addressing energy and health constraints must be undertaken as of now and taken into account in future building codes. In addition, the noise emitted and transmitted by ventilation systems must be reduced.

Lastly, the containment techniques initially developed for the nuclear industry are subject to increasingly strict robustness testing; they are also being adapted for use in other highly sensitive applications such as the management of infectious risks in hospitals and the design of safety laboratories for handling bacteriological agents.

All of these topics and major challenges will be addressed in the "Ventilation 2012" international conference and will be the subject of guest talks, oral presentations, posters and several workshops. We are pleased to invite you to the tenth conference of a round started in 1985 in Ottawa by Professor Goodfellow, held this year in Paris by INRS in partnership with the Scientific and Technical Centre for Building (CSTB), the Indoor Air Quality Observatory (OQAI), the Technical Centre for HVAC and Thermal Industries (CETIAT) and the Radioprotection and Nuclear Safety Institute (IRSN).

**Co-chairman of the conference  
Jean-Raymond FONTAINE**



# Comités / Committees

## Organisateur / Organiser

Institut National de Recherche  
et de Sécurité

## Comité de programme / Programme committee

- François DURIER, CETIAT
- Jean-Raymond FONTAINE, INRS
- Corinne MANDIN, CSTB
- Corinne PRÉVOST, IRSN
- Laurent RICCIARDI, IRSN

## Comité international d'organisation / Organising committee international

- Howard GOODFELLOW, University  
of Toronto – Président de la conférence,  
chairman of the conference
- Jean-Raymond FONTAINE, INRS  
Co-président de la conférence,  
co-chairman of the conference
- Aline MARCELIN, INRS
- Dominique MUR, INRS
- Stéphane VAXELAIRE, INRS

## Partenaires / Partners

### CETIAT

Domaine Scientifique de la Doua  
25, avenue des Arts – BP 52042  
F – 69603 VILLEURBANNE Cedex

### Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

Observatoire de la qualité de l'air intérieur  
84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne  
F – 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

### Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)

IRSN/DSU/SERAC/LEMAC  
Centre d'Etudes de Saclay – Bât 383  
BP 68 – 91192 Gif-sur-Yvette Cedex

## Comité scientifique INRS / INRS scientific committee

- Emmanuel BELUT
- Denis BEMER
- Francis BONTHOUX
- Robert BRACONNIER
- Bruno COURTOIS
- Jean-Raymond FONTAINE
- François-Xavier KELLER
- Stéphanie MARSTEAU

## Comité scientifique international / International scientific committee

- Francis ALLARD (FRA)
  - Hazim AWBI (GBR)
  - Ali BAHLOUL (CAN)
  - Henrik BROHUS (DNK)
  - Qingyan (Yan) CHEN (USA)
  - Lorraine CONROY (USA)
  - Rong-Fung HUANG (TWN)
  - Shinsuke KATO (JPN)
  - Kwang Woo KIM (KOR)
  - Hannu KOSKELA (FIN)
  - Martin LIDDAMENT (GBR)
  - Lidia MORAWSKA (AUS)
  - Bahram MOSHFEGH (SWE)
  - Peter V. NIELSEN (DNK)
  - Tom PLIKAS (CAN)
  - Mats SANDBERG (SWE)
  - Lee SANGSOO (KOR)
  - John SAUNDERS (GBR)
  - Michael SCHMIDT (DEU)
  - Martin SEIPENBUSCH (DEU)
  - Jorma RAILIO (FIN)
  - Xudong YANG (CHN)
  - Hiroshi YOSHINO (JPN)
- 

# Sommaire

## Conférence invitée

Effets sur la santé de la ventilation dans les habitations	2
--	---

## Session 1

1a - Qualité de l'air intérieur dans les bureaux	3
1b - Analyses et optimisation de la diffusion d'air (1)	7
1c - Qualité de l'air dans les locaux industriels - Contrôle des émissions	10

## Conférence invitée

Systèmes de distribution d'air et risque d'infection croisée dans le secteur hospitalier	14
--	----

## Session 2

2a - Transfert de contaminants en milieu hospitalier	15
2b - Qualité de l'air dans les locaux industriels - Captage à la source	19
2c - Analyse et optimisation de la diffusion d'air (2)	23

## Atelier

Amélioration de l'efficacité de la ventilation localisée en milieu de travail	28
---	----

## Conférence invitée

Bruit des systèmes de ventilation	30
-----------------------------------	----

## Conférence invitée

Principes de sécurité appliqués à la conception des systèmes de confinement et de ventilation de l'installation de recherche ITER	31
---	----

## Session 3

3a - Filtration de l'air	32
3b - CFD - Dispersion des polluants et épuration	37
3c - Qualité de l'air intérieur dans les résidences, écoles et crèches	42

## Conférence invitée

Performance énergétique des bâtiments à usage de bureaux	46
--	----

## Session 4

4a - Ventilation et efficacité énergétique dans les immeubles de bureaux et résidences	47
4b - Confinement	51
4c - CFD - Analyse des écoulements d'air intérieur	55

## Atelier

Mesure de débit d'air sur site	60
--------------------------------	----

<b>Conférence invitée</b>	
Présence de nanoparticules dans les systèmes de ventilation	62
<b>Conférence invitée</b>	
Capteurs innovants pour le contrôle en ligne des systèmes de ventilation dans les procédés de combustion	63
<b>Session 5</b>	
5a - Méthodes expérimentales innovantes	64
5b - Qualité de l'air intérieur - Indicateurs ; influence de l'environnement extérieur	66
5c - La sécurité des processus impliquant des nanoparticules	69
<b>Session 6</b>	
6a - Qualité de l'air dans les locaux industriels - Enceintes de ventilation	73
6b - Ventilation et efficacité énergétique des procédés industriels	77
6c - Qualité de l'air intérieur : valeurs guides et outils d'évaluation	80
<b>Session posters</b>	83
<b>Exposants</b>	124
<b>Index des auteurs</b>	125

# Summary

<b>Keynote presentation</b>	
The effects of ventilation in homes on health	2
<hr/>	
<b>Session 1</b>	
<b>1a</b> - Indoor air quality in offices	3
<b>1b</b> - Analysis and optimisation of air diffusion (1)	7
<b>1c</b> - Indoor air quality in industrial premises - Emissions control	10
<hr/>	
<b>Keynote presentation</b>	
Air distribution systems and cross-infection risk in the hospital sector	14
<hr/>	
<b>Session 2</b>	
<b>2a</b> - Contaminant transfer in hospitals	15
<b>2b</b> - Indoor air quality in industrial premises - local exhaust ventilation	19
<b>2c</b> - Analysis and optimisation of air diffusion (2)	23
<hr/>	
<b>Workshop</b>	
Improving the effectiveness of LEV in the workplace	28
<hr/>	
<b>Keynote presentation</b>	
Ventilation system noise	30
<hr/>	
<b>Keynote presentation</b>	
Safety design principles for confinement and ventilation systems of the ITER research facility	31
<hr/>	
<b>Session 3</b>	
<b>3a</b> - Air filtration	32
<b>3b</b> - CFD – Pollutant dispersion and treatment	37
<b>3c</b> - Indoor air quality in residences, schools and child day-care centres	42
<hr/>	
<b>Keynote presentation</b>	
Energy efficient office buildings	46
<hr/>	
<b>Session 4</b>	
<b>4a</b> - Ventilation and energy efficiency in office buildings and residences	47
<b>4b</b> - Containment	51
<b>4c</b> - CFD - Indoor air flow analysis	55
<hr/>	
<b>Workshop</b>	
On-site measurements of ventilation air flow rates	60
<hr/>	



<b>Keynote presentation</b>	
Nanoparticle-related issues in ventilated environments	62
<b>Keynote presentation</b>	
Innovative sensors for on-line control of ventilation systems for combustion processes	63
<b>Session 5</b>	
<b>5a</b> - Innovative experimental methods	64
<b>5b</b> - Indoor air quality - Indicators - Influence of the external environment	66
<b>5c</b> - Safety of processes with nanoparticles	69
<b>Session 6</b>	
<b>6a</b> - Indoor air quality in industrial premises - Ventilated enclosures	73
<b>6b</b> - Ventilation and energy efficiency of industrial processes	77
<b>6c</b> - Indoor air quality: guideline values and evaluation tools	80
<b>Poster session</b>	83
<b>Exhibitors</b>	124
<b>Author index</b>	125





**Lundi 17 septembre**  
**Monday, 17 September**

## Effets sur la santé de la ventilation dans les habitations

*Pawel Wargocki, International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark*

On estime que les populations des pays développés passent 90-95 % de leur temps à l'intérieur de bâtiments, notamment à la maison. La ventilation doit donc être suffisante pour prévenir les expositions aux polluants présents dans les habitations et s'assurer ainsi que les risques pour la santé des occupants sont le plus faibles possibles. Cet article présente une tentative de détermination du taux de ventilation nécessaire dans les habitations pour réduire les risques pour la santé. Une approche pragmatique a été employée. Ainsi les mesures de ventilation relevées dans les habitations et publiées dans la littérature scientifique ont été examinées, l'objectif étant d'établir un lien entre ces données et les symptômes constatés chez les occupants. Les données expérimentales issues de la littérature, bien que limitées, semblent indiquer qu'en deçà de 0,4-0,5 renouvellement d'air par heure, les risques pour la santé sont très probables. En outre, les systèmes de ventilation mécanique récemment installés semblent avoir des effets positifs sur la santé. Ces effets apparaissent moins clairement pour les habitations équipées de systèmes de ventilation anciens, du fait sans doute des mauvaises performances de ces systèmes (taux de ventilation trop faibles et/ou maintenance insuffisante). Aucune donnée n'indique que les performances des bâtiments équipés d'un système de ventilation naturelle dédié soient moins bonnes que celles des bâtiments équipés d'un système de ventilation mécanique. Il existe peu de données sur le taux de ventilation nécessaire pour réduire les risques pour la santé, non seulement parce que les études sur cette question sont rares mais aussi parce que, bien souvent, les études publiées souffrent de défauts méthodologiques. Il faut des études où les expositions soient correctement évaluées pour différents modes de ventilation (systèmes de ventilation naturelle dédiés, systèmes hybrides, systèmes de ventilation mécanique, etc.), et qui permettent d'établir le nombre minimal de renouvellements d'air requis pour réduire les risques pour la santé indépendamment du procédé de ventilation. L'exposition peut être évaluée par différentes méthodes, telles que le contrôle des niveaux de dioxyde de carbone et/ou de polluants figurant dans les *WHO guidelines for indoor air quality* (Valeurs guides de l'OMS pour la qualité de l'air intérieur), au minimum. Il faut également des études permettant d'évaluer l'efficacité des systèmes de ventilation existants dans les habitations. Ces études permettraient de mieux comprendre le lien entre ventilation et santé et de disposer de nouvelles données sur la manière dont les systèmes de ventilation devraient être conçus pour une efficacité optimale. En complément de la discussion sur les besoins de recherche, les résultats de cette revue font l'objet d'une discussion dans l'optique de l'établissement de valeurs guides de ventilation visant à réduire les risques pour la santé dans le cadre du projet HealthVent ([www.healthvent.eu](http://www.healthvent.eu)).



## The effects of ventilation in homes on health

It is estimated that 90-95% of time in developed world is spent indoors, of which substantial part is spent in homes. Sufficient ventilation is therefore needed to control exposures to pollutants occurring in homes so that the health risks of their occupants are minimized. An attempt to determine the rate of ventilation that is needed in homes to reduce health risks is presented in this paper. A pragmatic approach was employed in which the data from the measurements of ventilation in homes reported in the published scientific literature were reviewed and associated with the measured health symptoms of building occupants. The experimental data in the reviewed literature, although limited, suggest that 0.4-0.5 air changes per hour is a minimum outdoor air change rate below which the health risks are highly likely. The data suggest also that newly installed mechanical ventilation systems improve health conditions. In homes with the existing ventilation systems this positive effect is less evident, probably due to poor performance of the system exhibited by too low ventilation rates and/or poor maintenance. No data were found indicating that buildings, which have dedicated natural ventilation system, perform less well than the systems in which mechanical ventilation systems are installed. The available data on how much ventilation is needed to reduce health risks are limited, not only because there are small number of studies on this issue but also because in many cases published studies suffer from the deficient experimental design. Studies are recommended in which exposures are well controlled using different ventilation methods, including among others dedicated natural ventilation systems, hybrid systems and mechanical ventilation systems, so that minimum ventilation rates which reduce health risk can be set out independently of the ventilation system type. Exposure control can for example be achieved by controlling the levels of carbon dioxide and/or pollutants indicated by the WHO Guidelines for Indoor Air Quality, as a minimum. Also studies in homes are needed in which the performance of the existing home ventilation systems is monitored. These studies would advance our understanding on the relationship between ventilation and health as well as provide further data on how the ventilation systems should be operated to achieve optimal performance. Besides the discussion of future research agenda the results of the review are additionally discussed in the light of premises for creating ventilation guidelines based on health developed in the framework of the HealthVent project ([www.healthvent.eu](http://www.healthvent.eu)).

## Gêne olfactive et heures de travail perdues selon la loi de Weber-Fechner

A. Jönsson

Secondary Vocational Training, Härnösand, Sweden

On présentera une théorie relative aux heures de travail perdues en fonction de la concentration de substances odorantes. C'est au 19<sup>e</sup> siècle que Weber et Fechner ont décrit la perception humaine à partir de propriétés psychologiques et physiques mesurables (domaine de la psychophysique). La perception est une fonction logarithmique de la propriété. La fonction logarithmique est utilisée aujourd'hui en toxicologie pour décrire l'effet d'une substance et la sensibilité à cette substance, par une relation dose-réponse. La perte d'heures de travail est représentée par une courbe isoquante. Cette courbe, utilisée en économie, est la combinaison de facteurs d'entrée (intrants) donnant une même production. Elle peut être utilisée pour établir la productivité maximale. La fonction logarithmique utilise le seuil olfactif pour décrire à quelle concentration un individu sent une odeur, mais aussi comment il perçoit une augmentation de la concentration. Il est donc important de connaître les seuils olfactifs. Le seuil le plus bas détermine le débit maximal d'air neuf. Pour calculer les heures de travail perdues par un groupe de travailleurs, il faut connaître la distribution des seuils olfactifs. Les seuils des individus d'un groupe sont supposés linéaires par rapport à la fonction logarithmique. Une relation traduisant la perte de production en fonction de la concentration et du nombre de personnes gênées est dérivée. Cette relation n'est pas linéaire. La courbe est calibrée par rapport au coût marginal de la concentration d'une odeur bien étudiée - l'odeur corporelle. La fonction calibrée est utilisée pour calculer la perte de production due à un nouveau polluant pour lequel les heures de travail perdues ont été mesurées dans une étude du rythme de travail. Si le débit optimal d'air extérieur est de 12 l/s, pers, alors la fonction dérivée montre les heures de travail perdues dans l'étude du rythme de travail. L'optimum est la solution la plus efficiente du point de vue de la consommation d'énergie.

\* \* \* \* \*

## Odour nuisance and the loss of work hours according to the Weber-Fechners Law

This paper derives a theory for the loss of work hours as function of the concentration of a substance that gives an odour. Weber and Fechner described the human perception, psycho of physically measurable properties during the 19-th century (psychophysics). The perception is logarithmic to the property. The logarithmic function is now used in toxicology to describe the effect of and the sensibility to drugs in the dose response relation. The loss of work hours is given as the isoquant curve. The curve is used in economics and is the combinations of input factors that give the same production. The isoquant can be used to find the maximum productivity. The logarithmic function uses the odour threshold to describe at witch concentration an individual feels an odour but also to describe how he individual feels an increase in concentration. This makes knowledge of the odour thresholds important. The existence of the lowest threshold makes the highest meaningful outdoor air rate important. To calculate the loss of work hours for a collective then the distribution of thresholds must be known. The thresholds for the individuals in a collective are assumed to be linear to the logarithmic function. A relation for the loss of production as function of the concentration and as function of the number of disturbed is derived. The relation is a bent curve. It is calibrated against the marginal cost of concentration for the well-known odour body-odour. The calibrated function is used to calculate the loss of production for a new pollutant where the loss of work hours has been measured in a work rate study. If the optimal outdoor air rate 12 l/s, pers then the derived function shows the measured loss of workhours in the work rate study. The optimum is energy efficient.

## La ventilation dans les bureaux en Europe : état des lieux

*C. Dimitroulopoulou, J. Bartzis*

*University of West Macedonia, Greece*

Les bureaux sont parmi les espaces les plus standardisés dans les bâtiments, et revêtent quasiment les mêmes caractéristiques où que l'on aille dans le monde. Ainsi, la préférence va plutôt aux bureaux paysagers, gage de flexibilité, et à une forte densité d'occupation, ce qui accroît le besoin de ventilation mécanique. Le conditionnement d'air et la ventilation mécanique associés à d'importants niveaux d'éclairage artificiel nécessitent des niveaux d'énergie élevés. Toutefois, toute la difficulté est d'assurer à la fois une bonne qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, le confort thermique, visuel et acoustique et une bonne efficacité énergétique. Dans le cadre du projet OFFICAIR, financé par l'UE, sur la réduction des effets sur la santé de l'exposition combinée à des polluants intérieurs dans les bureaux modernes, le rôle de la ventilation dans les bâtiments à usage de bureaux est envisagé sous l'angle de son impact sur la santé, les performances et la productivité des employés de bureau. Cette revue porte tout d'abord sur les raisons pour lesquelles la ventilation des bureaux est un sujet de préoccupation, ainsi que sur ses effets sur la santé. Nous présentons également les normes et la réglementation existantes en matière de ventilation dans les bâtiments à usage de bureaux, à titre de référence. Enfin, nous dressons un état des lieux des taux de ventilation mesurés dans les bâtiments à usage de bureaux en Europe, en examinant la compatibilité avec les normes et la réglementation européennes.

\* \* \* \* \*

## Ventilation in European offices: a review

Offices are one of the most standardised spaces in buildings, exhibiting an almost identical character, regardless of their location in the world. Flexible open plan arrangement and high density of occupation are favoured, increasing the demand for mechanical ventilation. Air conditioning and mechanical ventilation coupled with the often excessive levels of artificial lighting (reinforcing the necessity for air conditioning), require high levels of energy. However, the challenge for buildings is to achieve good indoor air quality in relation to health thermal, visual and acoustic comfort and simultaneously to achieve good energy efficiency. Within the framework of the EU-funded OFFICAIR project "On the reduction of health effects from combined exposure to indoor pollutants in Modern Offices", the role of ventilation in office buildings is considered, given that ventilation has serious impact on health, performance and productivity of office workers. This review examines, first of all, why office ventilation is an issue of concern and how is related to the human health. A review of the current status of ventilation standards and regulations in office buildings is also provided, as a reference. Finally, a review of measurements of ventilation rates in European Office buildings is provided, where the compatibility with the European standards/regulations is examined.

## Immeubles de bureaux en France : campagne nationale d'évaluation de la qualité de l'air intérieur, de la ventilation et de la santé des salariés

C. Mandin, O. Ramalho, J. Ribéron, S. Kirchner

Université Paris-Est, Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), Marne-La-Vallée, France

Il existe aujourd'hui très peu de données sur la qualité de l'air intérieur dans les immeubles de bureaux en France. Elles sont très parcellaires et/ou anciennes. Les connaissances issues d'études menées dans les autres pays laissent à penser que, du fait des activités qui s'y tiennent, il pourrait exister une typologie de pollution intérieure propre à ces environnements. Par exemple, l'utilisation d'ordinateurs, d'imprimantes et de photocopieurs a pris une importance considérable sur les lieux de travail ; ces appareils émettent des polluants tels que les composés organiques volatils (COV) ou semi-volatils, l'ozone et les particules fines et ultrafines. Par ailleurs, l'utilisation de produits d'entretien, potentiellement émetteurs de COV, est fréquente dans les espaces de bureaux. Enfin, les immeubles de bureaux sont souvent équipés de systèmes mécaniques de ventilation et de conditionnement d'air pouvant générer des pollutions particulières en cas de défaut d'entretien. L'impossibilité d'ouvrir les fenêtres dans les immeubles de grande hauteur fait que le renouvellement et la qualité de l'air dépendent du bon fonctionnement des systèmes. Par ailleurs, de nombreuses études en conditions contrôlées ont montré que la température, le bruit, l'éclairage et le taux de renouvellement de l'air pouvaient avoir une influence sur la rapidité à effectuer certaines tâches et/ou à les réaliser correctement. Ces facteurs ont aussi été associés au syndrome des bâtiments malsains et au nombre d'arrêts de travail de courte durée. Dans ce contexte, et sachant que le temps passé dans ces lieux est non négligeable pour une fraction importante de la population active, une campagne nationale a été lancée en 2012 dans 300 immeubles de bureaux du parc français. Son objectif est de dresser un état du parc en termes de qualité de l'air intérieur, ainsi que de confort et de santé perçus. En outre, dans le contexte actuel des enjeux plus larges du bâtiment, des éléments d'information sont apportés sur la performance énergétique des immeubles. In fine, selon les résultats obtenus, des recommandations pourront être élaborées afin d'améliorer la qualité de l'environnement intérieur dans les immeubles de bureaux.

\* \* \* \* \*

## IAQ, ventilation, comfort and health in office buildings: a French nationwide survey

To date, little data exists on indoor air quality in French office buildings. Data is very fragmented or old. Knowledge from studies carried out in other countries suggests that the type of indoor air pollution is likely to be specific in these environments. For example, computers, printers and photocopiers are now widely used at the workplace; these electronic devices emit pollutants such as volatile and semi-volatile organic compounds (VOCs and SVOCs), ozone, fine and ultrafine particles. Moreover, the use of cleaning products, potentially emitting VOCs, is common in offices. Lastly, office buildings are often equipped with mechanical ventilation and air conditioning systems in comparison to dwellings. Poor maintenance can generate specific pollution. Not being able to open windows in high-rise buildings should also be taken into account. In addition, many studies carried out under controlled conditions have shown that temperature, noise, lighting, or air exchange rate could affect the speed with which certain tasks are performed or the way in which they are executed. These factors have also been associated with sick building syndrome (SBS) and the number of sick leaves. In that context, the French observatory of indoor air quality (OQAI) has launched a nationwide survey in 300 office buildings in 2012. The main objective of this national survey is to characterize indoor pollution in the office building stock in France, and to describe systems in place. Moreover perceived comfort and health is investigated through questionnaires. Lastly, since a common approach between IAQ and energy savings has been requested, energy performance in the office building stock is also being studied. This should lead to a classification of buildings according to those criteria (IAQ, comfort, health, energy).

## Performances de la ventilation individuelle sans conduit dans un bureau paysager – enquête de terrain

M. Dalewski<sup>1</sup>, K. H. Ezzat<sup>2</sup>, A. Melikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DTU ICIEE, Denmark, <sup>2</sup>Syracuse University, United States

Une campagne de mesure a été conduite dans un bureau paysager comportant 56 postes de travail - ventilé par déplacement d'air, dans un immeuble de Syracuse, aux Etats-Unis. Les occupants, salariés d'une agence d'architecture, avaient pour la plupart une activité de conception. Une ventilation individuelle sans conduit a été installée à 29 postes de travail (soit 52 % des postes). Ce type de ventilation, comportant un petit ventilateur et un filtre, aspire l'air propre et frais provenant de la ventilation par déplacement, et le souffle dans la zone de respiration de l'occupant. Cela permet un contrôle individuel du débit (de la vitesse) et de la direction de l'air. Au cours de l'étude menée de juillet à octobre 2011, les utilisateurs et les non-utilisateurs de ce système ont fourni quotidiennement des informations sur leur confort thermique, la qualité de l'air et les symptômes de SBM. La température de l'air, la température opérative et l'humidité relative étaient mesurées en continu. Les occupants des espaces de travail équipés d'une ventilation individuelle sans conduit se sont déclarés de plus en plus satisfaits de l'environnement intérieur.

\* \* \* \* \*

## Performance of ductless personalised ventilation in an open-plan office - field survey

A field survey was conducted in an open-plan office with 56 workstations and ventilated by displacement air distribution in a building located in Syracuse, USA. The occupants, employees of an architectural company, performed mostly design work. Ductless personalised ventilation was installed on 29 of the workstations (52%). The DPV equipped with small fan and filter, sucks the clean and cool air distributed over the floor by the displacement ventilation and supplies it to the breathing zone of the occupant. The DPV allows for individual control of flow rate (i.e. velocity) and direction of the supplied personalised air. During the survey, carried out in July – October 2011, both DPV users and non-users reported daily on their thermal comfort, air quality and SBS symptoms. Continuous measurements of air temperature, operative temperature and relative humidity were performed. The occupants at the desks with DPV reported increased satisfaction with the indoor environment.

## Domaine de fonctionnement optimal des systèmes à débit d'air variable (DAV)

A. Prozuments, A. Borodinecs  
Riga Technical University, Riga, Latvia

Les diffuseurs d'air dotés d'un système à débit d'air variable (DAV) contrôlent le débit d'air pour compenser les variations de température à la hausse ou à la baisse au sein de la zone thermique desservie. Lorsque l'air neuf est émis parallèlement à la surface du plafond, cela génère une dépression entre le jet d'air et le plafond, et le jet d'air « colle » alors au plafond (effet Coanda). Cet effet est d'une grande importance, en particulier lors de l'apport d'air rafraîchi. La vitesse de l'air neuf doit être maintenue à un niveau suffisant pour qu'il se mélange convenablement, alors que dans le même temps cette vitesse doit avoir décru au niveau requis lorsque l'air pénètre dans la zone occupée. Plusieurs types de diffuseurs ont été testés pour déterminer l'influence de leur forme et de leurs caractéristiques de construction sur le mode de distribution de l'air à l'intérieur des locaux. Les essais ont été menés dans une enceinte d'essai spécialement conçue à cet effet, représentant une pièce de bureau. 24 détecteurs ont été installés à la position d'un occupant debout conformément à la norme ASHRAE:55-2004. Le point de référence (pour la disposition des détecteurs) coïncidait avec l'axe vertical du diffuseur. La vitesse et la température de l'air ont été mesurées en chacun des 24 points. L'enceinte d'essai a été isolée de manière à maintenir des conditions isothermes et les mesures ont été effectuées pour des différences de température entre l'air neuf et l'air intérieur de l'enceinte de 4 K et 8 K. Deux valeurs de débit d'air sont particulièrement importantes pour établir le domaine de fonctionnement du diffuseur : le niveau le plus bas pour lequel l'effet Coanda apparaît et le niveau le plus élevé pour lequel le niveau sonore dépasse 35 dB. A l'intérieur du domaine de fonctionnement, nous avons ainsi tracé le schéma de distribution de l'air, calculé l'intensité de la turbulence, le taux de courant d'air (draft rate) puis tracé les graphiques illustrant les résultats obtenus pour chaque diffuseur.

\* \* \* \* \*

## The optimal operating range of VAV supply units

Air diffusers equipped with variable air volume function (VAV) control the air flow rate to meet the rising and falling heat gains or losses within the thermal zone served. When the air is supplied parallel to the ceiling surface negative pressure occurs between the air jet and the ceiling, causing the jet to „stick” to the ceiling (Coanda effect). This effect is of great importance, particularly when supplying cooling air. The velocity of the supplied air should be kept at a level which ensures that the mixing is effective, but at the same time ensures that the air velocity has fallen to the required level by the time it reaches the occupied zone. Several types of diffusers were tested to determine the influence of the shape and constructional features of diffusers on the air distribution pattern within a premises. The tests were performed in a specially designed test chamber which represented a single office room. 24 probes were installed in area of a standing occupant in accordance with ASHRAE:55-2004. The point of reference (for the disposition of the probes) was the vertical axis of the diffuser installation plane. At each of 24 points air temperature and velocity was measured. The test chamber was isolated so that isothermic conditions were maintained and all measurements were carried out at 4K and 8K temperature difference between supply air and air inside the chamber. Two air flow values are of great importance to establish the operating range: the lowest point at which Coanda effect appears and the highest point at which noise level exceeds 35dB. Thus we traced the path of air distribution pattern within the operating range, made the calculations on turbulence intensity, draft rate and eventually built the graphs to demonstrate the results on each diffuser.



## Etude de l'environnement intérieur du bâtiment principal du Musée national d'art occidental en vue d'élaborer un plan de réhabilitation

T. Kurabuchi<sup>1</sup>, T. Ogasawara<sup>2</sup>, H. Ochiai<sup>3</sup>, S. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tokyo University of Science, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Meisei University, Tokyo, Japan

<sup>3</sup>Shimizu Corporation, Tokyo, Japan

Le Musée national d'art occidental est le seul ouvrage de Le Corbusier au Japon, et sa construction date de 50 ans. Il devient urgent, pour la préservation de ce lieu culturel, de procéder à une réhabilitation complète en maintenant la fonction de musée d'art et en restaurant la conception originale de Le Corbusier. Cette étude de l'environnement intérieur, qui avait pour but d'élaborer le plan de réhabilitation du bâtiment principal, a confirmé les caractéristiques actuelles des écoulements d'air, par un suivi sur le terrain des débits d'air du système de conditionnement d'air, des différences de pression internes et de la distribution des âges de l'air. Le débit d'air extrait était supérieur au débit d'air neuf dans le bâtiment, ce qui se traduisait par des infiltrations d'air. L'âge de l'air était plus élevé dans l'espace d'exposition et, par voie de conséquence, dans le hall d'entrée, et plus bas dans le restaurant. Les vitesses d'air le long des parois variaient considérablement selon les lieux, pour une valeur maximale de l'ordre de 0,7 m/s. Des parois de verre qui n'existaient pas dans la conception d'origine de Le Corbusier ont été installées pour séparer l'espace d'exposition du hall d'entrée, afin d'éviter d'éventuelles perturbations par des sources extérieures. Nous avons réalisé une étude prédictive par CFD de l'environnement aérodynamique dans les conditions de la conception d'origine, en faisant varier les zones de conditionnement d'air. Si la conception d'origine était restaurée avec le zonage actuel de l'air conditionné, il y aurait un risque accru de condensation sur une surface vitrée du hall d'entrée. Il a été confirmé que ce risque de condensation serait significativement réduit par une subdivision du zonage de l'air conditionné et une modification du réglage dans chacune des zones ainsi définies.

\* \* \* \* \*

## Study of the indoor environment of the main building of the National Museum of Western Art for developing a retrofit scheme

The National Museum of Western Art is the only work of Le Corbusier in Japan, and 50 years have already been passed since construction. Drafting of the throughout retrofit plan to maintain the function as the art museum and to restore an original design idea of Le Corbusier becomes an urgent task to keep the value as cultural assets. This study carried out an indoor environmental investigation for the purpose of development of the retrofit plan in the main building and confirmed the current air flow characteristics by actual survey such as flow rates of air-conditioning system, internal pressure differences and age of air distribution. There was more exhaust flow rate than supplied fresh air in the building, so air infiltration was concerned about. Age of air was the longest in the exhibition space and subsequently in the entrance hall, and the shortest in the restaurant. Wall adjacent air velocities varied greatly according to the locations, and were around 0.7m/s in the highest position. Glass partitions to separate exhibition space with entrance hall to avoid possible disturbance from outdoor were added after completion and were not existed in the original design of Le Corbusier. We carried out CFD prediction of the air environment under the condition of the original design with variable air conditioning zoning plans. If the original design were restored with the present air conditioning zoning, a dew condensation risk increased on a glass surface of the entrance hall, however it was confirmed that such a dew condensation risk was significantly reduced by subdividing air-conditioning zoning, and changing the air conditioning control in each subdivided areas.

## Ventilation à la demande par déplacement d'air : étude sur un modèle réduit constitué de deux enceintes reliées en série

Y. J. P. Lin, C. L. Lin,

National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan

On présentera une analyse théorique de la ventilation par déplacement d'air, et les résultats d'une expérimentation sur un modèle réduit constitué de deux enceintes reliées en série, avec une stratégie de commande à la demande. Cette étude expérimentale réalisée sur un modèle en acrylique comportant une séparation intérieure analyse les débits d'air requis pour maintenir des conditions de confort. La séparation intérieure divise l'espace en deux volumes de même taille. L'un des volumes, équipé d'une source de chaleur, est le « local à ventilation forcée », l'autre, qui fournit l'air conditionné, est le « local d'apport d'air ». L'étude a porté sur la ventilation à la demande par déplacement d'air, de type soufflage-extraction, dans deux enceintes reliées en série, l'orifice d'admission d'air de l'enceinte non forcée étant fermé. De l'eau salée et de l'eau douce ont été utilisées pour simuler la différence de poussée hydrostatique lors de l'expérimentation. L'eau salée était introduite par une buse placée en haut du réservoir en acrylique. Le panache d'eau salée progresse dans la même direction que la gravité, mais en direction opposée à celle du panache thermique. Cependant, les résultats seront présentés et discutés sur la base de l'orientation du panache thermique. Les résultats de l'expérimentation ont été inversés, dans un souci de cohérence avec l'analyse théorique. Ils montrent que les propriétés de la zone occupée dans le local forcé peuvent être commandées par le débit volumique du local d'apport et l'intensité de la source de chaleur dans le local à ventilation forcée.

\* \* \* \* \*

## Demand-controlled displacement ventilation in a reduced-scale model of two series-connection chambers

The paper presents a theoretical analysis approach and experimental results on displacement ventilation in a reduced-scale model of two series-connected chambers with a demand-controlled strategy. This experimental study uses a reduced-scale acrylic model with an interior divider to analyze required ventilation flow rates to maintain a comfortable indoor space. By an interior divider, the space is divided into two same size rooms. The space has a heat source denoted as "forced room", and the other is denoted as "supply room", which provides controlled conditioned air in the space. This research studies demand-controlled displacement ventilation patterns in two series-connected chambers of the pull-type with the inlet of the unforced chamber being shut. Salt water and fresh water are used to simulate the buoyancy force difference in experiments. A salt water source nozzle is placed at the top of the acrylic tank. Salt plume proceeds in the same direction as the gravity, but it is opposite to the thermal plume proceeding direction. However, the paper presents and discusses the results according to the thermal plume orientation. Experimental results are inverted to be consistent with theoretical analysis. The results show that the properties of the occupied region in the forced room can be controlled by the volume flow rate of the supply room and the heat source level in the forced room.

## Validation d'une simulation du flux d'air expiré par un être humain dans un local ventilé verticalement

I. Olmedo<sup>1</sup>, M. Ruiz de Adana<sup>1</sup>, P.V. Nielsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Córdoba, Córdoba, Spain

<sup>2</sup>Aalborg University, Aalborg, Denmark

L'air expiré est l'une des sources de contaminants biologiques les plus importantes et les plus actives dans un local. Lorsqu'une personne respire, de petites particules potentiellement porteuses d'agents pathogènes (virus, bactéries, par exemple) sont rejetées et peuvent être transportées par l'air. Ces contaminants expirés peuvent présenter un risque infectieux pour les autres personnes présentes dans la pièce. Dans cette étude, la simulation numérique (CFD, Computational Fluid Dynamics) est utilisée pour prédire la diffusion d'un flux d'air contaminé rejeté par une personne dans un local équipé d'une ventilation verticale. Une étude expérimentale dans une enceinte d'essai vraie grandeur (longueur 4,1 m, largeur 3,2 m, hauteur 2,7 m) est réalisée pour valider les simulations numériques. L'air entrant est distribué par un diffuseur textile au niveau du plafond, ce qui génère dans la pièce des zones de flux descendants et ascendants. Un mannequin thermique doté d'une fonction de respiration temporelle (expiration par la bouche, inspiration par le nez) est utilisé. Un gaz traceur, le N<sub>2</sub>O, permet de simuler la présence de substances gazeuses, qui peuvent être considérées comme des contaminants biologiques expirés par le mannequin. Au cours des essais, cinq sondes de mesure de la concentration et cinq anémomètres sont placés le long de l'axe longitudinal du jet d'air expiré, afin de caractériser l'expiration et de valider la simulation numérique. La simulation est réalisée en considérant une vitesse moyenne de respiration du mannequin. Cette condition aux limites simplifie la simulation et en réduit la durée. Les résultats montrent une prédiction fiable des vitesses et des concentrations le long de l'axe longitudinal du jet d'air expiré, ainsi que dans le reste du local.

\* \* \* \* \*

## Validation of a human exhalation flow simulation in a room with vertical ventilation

The human exhalation flow is one of the most important and active sources of biological contaminants in a room. When a person is breathing, tiny particles that may carry pathogens such as viruses or bacteria are exhaled and can follow the airstream. These exhaled contaminants may cause a risk of infection to another person placed in the same room. The powerful technique of Computational Fluid Dynamics (CFD) is used in this research to predict the dispersion of a contaminated human exhalation flow in a room, which is equipped with vertical ventilation. An experimental study in a full-scale test chamber: 4.1 m (length), 3.200 m (width) and 2.7 m (height), is carried out to validate the numerical simulations. The incoming air is distributed through a ceiling mounted textile diffuser, which generates both downward and upward flow areas in the room. A breathing thermal manikin with a time dependent breathing function (exhaling through the mouth and inhaling through the nose) is used. A tracer gas, N<sub>2</sub>O is used to simulate the gaseous substances, which can be considered as biological contaminants, exhaled by the manikin. During the experiments five concentration probes and five anemometers are placed along the centreline of the exhalation jet in order to characterize the exhalation and validate the CFD simulation. The CFD simulation is carried out using the average velocity of the breathing function of the manikin. This boundary condition simplifies the simulation process and decreases simulation time. The results show a quite accurate prediction of the velocity and concentration values along the centreline of the exhalation jet as well as in the rest of the room.

## Effet du modèle de la viscosité frictionnelle entre particules sur la dynamique du jet tombant d’un silo

Z. Zeren<sup>1,3</sup>, H. Neau<sup>1,3</sup>, R. Ansart<sup>2,3</sup>, O. Simonin<sup>1,3</sup>, E. Belut<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Université de Toulouse ; INPT, UPS ; IMFT, Toulouse, France

<sup>2</sup>Université de Toulouse ; INPT, UPS ; LGC ; Toulouse, France

<sup>3</sup>CNRS ; Fédération de recherche FERMaT ; Toulouse, France

<sup>4</sup>INRS - Département IP - Centre de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

Lorsque des particules tombent d’un silo sous l’effet de la gravité, on observe généralement la formation d’un panache de poussières lié à la dispersion latérale de particules fines. L’émission de poussière se traduit par une perte du produit, des risques importants pour la santé des opérateurs sur les lieux de travail au travers de maladies professionnelles (cancer, empoisonnement) et peut même être à l’origine de feux ou d’explosions. L’objectif de ce travail consiste à développer une approche CFD multiphasique de type Euler-Euler pour la simulation 3D instationnaire de la vidange d’un silo et la prédiction de la dispersion radiale des particules fines. Les travaux préliminaires de simulation de jet tombant, réalisés avec le code NEPTUNE\_CFD, sur la configuration expérimentale étudiée par Ansart (2007), ont montré que les simulations réalisées en imposant le débit en sortie basse du silo ne permettaient pas de reproduire le comportement observé expérimentalement. En effet, la dispersion radiale des particules et l’entraînement de l’air périphérique par le jet tombant paraissent très largement sous-estimés. Afin de favoriser la déstabilisation du jet et de conduire à un mélange latéral plus important, des simulations ont été réalisées en couplant la simulation du jet tombant avec l’écoulement granulaire dans le silo. Pour permettre cette simulation, en plus du modèle cinétique pour les contraintes particulières, un modèle frictionnel est utilisé pour prendre en compte les interactions de longue durée entre les particules dans le silo en régime quasi-statique. Les résultats obtenus montrent que l’angle de talus des particules et le constant empirique du modèle de la pression frictionnelle ont une grande influence sur le débit de particules sortant de l’injecteur du silo. Cependant, la comparaison des mesures expérimentales aux résultats des simulations numériques 3D montre que les résultats numériques sous-estiment la décélération de la vitesse des particules au centre du jet due à l’induction d’air dans le panache de poudre.

\* \* \* \* \*

## Effect of the particle frictional viscosity model on the dynamics of streams free falling from a silo

A stream of particles free falling from a silo under the effect of gravity is commonly encountered in industrial applications such as transport of granular materials from bins, silos by simply pouring or by conveyor belts and can be treated as a two-phase flow problem. Ansart (2007) observed that fine particles free falling from a silo are rejected from the main flow at the core laterally causing airborne dust. This emission is the cause of numerous problems such as the loss of product, possible diseases for workers due to inhalation and even explosions. The objective in this work was to develop a Euler-Euler CFD approach in multiphase flows for the 3D non-stationary simulation of emptying a silo and for the prediction of the characteristics of the lateral fine particle emission. Preliminary works with the code NEPTUNE\_CFD showed that the 3D simulations with the injection of fine particles into a quiescent air with some velocity did not allow the generation of the experimentally characterized conditions of particle emission. The radial dispersion of the particles and the air entrainment were largely underestimated. In this study, to bring about this radial dispersion, a silo was integrated into the geometry in order to couple the free falling jet with a granular flow inside the silo. A frictional model was used in order to take into account the frictional stresses during the long-term interactions between the particles inside the silo in quasi-static regime. The results showed that the angle of repose of the frictional viscosity model and the empirical constant of the frictional pressure model had significant influence on the solid mass flux at the outlet of the silo. However, comparison with the experimental data showed that the deceleration of particles was largely underestimated due to the particle induced air motion.

## Mesure des concentrations de poussières de bois : étude expérimentale

F.-X. Keller<sup>1</sup>, K. Valduga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

<sup>2</sup>Student INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

L'objectif de cette étude est de développer une méthode d'essai pour la mesure du niveau d'empoussièrement généré par une scie à panneau verticale, et de corréler les mesures obtenues avec l'exposition de l'opérateur. Une machine à bois localisée au laboratoire de l'INRS a été utilisée pour effectuer les mesures. Cette machine est équipée d'un système d'aspiration primaire relié au bloc moteur de la scie circulaire et d'un système d'aspiration secondaire localisé à l'arrière du panneau vertical. Plusieurs appareils de mesures (CIP10) couplés avec un compteur de particules et des photomètres ont été placés autour de la scie. Nous avons principalement effectué des découpes verticales en sélectionnant trois modes d'aspiration différents : avec aspirations primaire et secondaire, avec aspiration primaire seule et, enfin, sans aspiration. Les résultats ont été comparés afin de déterminer les variabilités entre les différents capteurs ainsi que leurs niveaux d'incertitude. Un indice d'assainissement a été déterminé pour identifier les performances du système de captage. Les mesures permettent d'analyser avec cohérence le comportement de la scie à panneau et donnent un classement qualitatif sur l'efficacité de captage. Toutes les valeurs obtenues ont été comparées et analysées par rapport à la valeur limite d'exposition de 1 mg/m<sup>3</sup>.

\* \* \* \* \*

## Experimental study for wood dust measurement

Objective: The objective of this study is to characterize a method to identify the dust level generated from a vertical panel saw and to relate it to the operator exposure. Method: A machine located in the INRS laboratory was selected to perform the measurements. This machine is equipped with a primary aspiration system connected to the engine casing and a secondary aspiration system located in the back panel. Several samplers (CIP10) coupled with a particle counter and 4 photometers were placed around the saw. One type of operation was selected - vertical cuts - and 3 ventilation modes - with primary and secondary aspiration, with primary aspiration only and without aspiration - were tested. Twenty minutes working time was adopted for vertical cuts when the saw aspiration was ON and twenty minutes working time was chosen when the saw aspiration was OFF. Each measure was repeated 3 times. The different results were compared in order to analyze the sensors' sensitivity and variability. Results and conclusion: From the photometers' results it was possible to calculate the decontamination index. This index was analyzed and compared with dust concentration levels measured with the CIP10. The particle counter gives size distribution and was used to determine the number of inhalable particles. All the results were compared and analyzed with the French occupational exposure limit value of 1 mg/m<sup>3</sup>.

## Etude expérimentale du dépôt de particules dans les conduits de ventilation dans l'industrie agroalimentaire

M. Havel<sup>1</sup>, M. Ben Othmane<sup>2</sup>, E. Géhin<sup>3</sup>, C. Solliec<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ONIRIS, Nantes, France

<sup>2</sup>CLAUGER, Brignais, France

<sup>3</sup>Université Paris Est Créteil, Créteil, France

<sup>4</sup>Ecole des Mines, Nantes, France

La qualité de l'air représente un enjeu majeur dans les usines agroalimentaires. Ainsi, un nettoyage régulier du système de ventilation est nécessaire pour éviter l'accumulation de poussières ou de condensats qui pourraient générer la croissance de microorganismes. Dans le cadre du projet ANR CLEANAIRNET, des mesures in situ ont été réalisées dans les différentes usines des partenaires industriels du projet. Elles ont permis d'analyser les conditions d'écoulement, la concentration de particules et les caractéristiques des conduits de ventilation. Par ailleurs, nous avons montré que les modèles théoriques de prédiction du dépôt de particules ne peuvent s'appliquer à ces configurations car ils partent d'hypothèses trop restrictives (écoulement turbulent pleinement développé, par exemple). De nouvelles mesures de dépôt de particules ont donc été réalisées en laboratoire mais à une échelle réelle dans une boucle aéraulique avec des zones d'écoulement turbulent non établi. L'originalité du travail réside notamment dans l'étude d'un système de grande dimension à nombre de Reynolds élevé ( $Re=105$ ). Il permet d'étudier l'influence de la taille des particules (diamètre compris entre 2 et 6  $\mu m$ ), la vitesse de l'air, l'orientation de la surface et la position le long de la conduite sur la vitesse de dépôt. Les mesures indiquent que la vitesse de dépôt des particules est plus importante lorsque l'écoulement n'est pas pleinement développé. Elles ont permis de proposer un nouveau modèle empirique permettant de prédire la vitesse de dépôt de particules sur les surfaces des conduits et coudes. Elles ont également révélé des zones de dépôt privilégiées. Ce travail va contribuer à une meilleure conception des systèmes de ventilation et à une meilleure estimation du dépôt de particules. Les résultats de ce travail peuvent aider à identifier les paramètres spécifiques pour les procédures et la fréquence de nettoyage.

\* \* \* \* \*

## Experimental study of particle deposition in ventilation duct systems of the food industry

The quality of air within factories is controlled by many food manufacturers. Ventilation system hygiene must be controlled by regular cleaning to prevent the build up of dust, product or condensate that may provide a focus for microbial growth. In the frame of the national project CLEANAIRNET, in-situ measurements have been performed to analyze flow conditions, particle mass concentration and characteristics of the ventilation ducts in different factories. Theoretical models from the literature have been found inadequate to predict particle deposition in these cases because they were mainly designed for restrictive configuration. New measurements of particle deposition rates have been then performed in laboratory at real scale with a stainless steel duct system for undeveloped turbulent flows. The goal of this study was to conduct aerosol deposition tests to investigate the influence of particle size, air velocity, orientation of the deposition surface and position along the duct. At a Reynolds number  $Re=105$ , particle deposition velocity was analysed as a function of the particle sizing from 2  $\mu m$  to 6  $\mu m$ , and the impact of parameters and mechanisms was studied in terms of position along the duct. Air velocity measurements improved the theoretical model and the prediction of deposition for large particles. Measurements confirm that particle deposition velocity increases when the flow is not fully developed. The measurements allowed us to propose a new empirical model to predict particle deposition velocity in duct surfaces and bends. This contributes to a better design of ventilation systems and a better estimation of particle deposition. Findings of this work may help to identify the specific parameters for cleaning procedures.

## Systèmes de distribution d'air et risque d'infection croisée dans le secteur hospitalier

*Peter V. Nielsen, Aalborg University, Denmark*

L'air neuf introduit dans un local par ventilation naturelle ou mécanique permet de se prémunir du risque d'infection croisée par voie aérienne. L'air est réparti dans le local selon différents principes : ventilation par mélange, ventilation descendante, ventilation par déplacement, etc. Un volume d'air important est introduit dans le local afin que les agents infectieux présents dans l'air soient dilués.

On traitera à la fois du macro et du microenvironnement. Le macroenvironnement correspond aux conditions créées par le système de distribution d'air, le microenvironnement, aux conditions créées par l'écoulement local de l'air autour des personnes compte tenu des conditions ambiantes.

Les analyses de l'écoulement d'air dans le local (macroenvironnement) montrent le rôle déterminant d'une série de paramètres lorsqu'on souhaite ramener à un minimum le risque d'infection croisée par voie aérienne. Le débit de l'air entrant dans le local doit être élevé, et le mode de distribution de l'air peut être conçu de telle manière que la ventilation soit très efficace. En outre, une ventilation personnalisée peut réduire le risque d'infection croisée voire, dans certains cas, la source infectieuse. La ventilation personnalisée peut être utilisée notamment en milieu hospitalier, dans les cabines d'avion et, en général, dans des contextes où la position des individus est bien définie.

Les analyses de l'écoulement d'air dans le microenvironnement montrent l'importance d'une série de variables : distance entre individus, postures individuelles, gradients de température locaux et température locale, degré d'activité, etc.

Des expériences avec un gaz traceur simulant des noyaux de condensation et des expériences avec des particules de plus grande taille, simulant des gouttelettes, sont utilisées pour l'étude du risque d'infection croisée par voie aérienne et pour l'étude du risque de transmission par les gouttelettes. Les prédictions CFD sont utilisées pour étayer les expériences menées ainsi que la théorie développée.



## Air distribution systems and cross-infection risk in the hospital sector

We protect ourselves from airborne cross-infection in the indoor environment by supplying fresh air to the room by natural or mechanical ventilation. The air is distributed in the room according to different principles as e.g. mixing ventilation, downward ventilation, displacement ventilation, etc. A large amount of air is supplied to the room to ensure dilution of airborne infection.

The paper discusses both the macroenvironment and the microenvironment. The macroenvironment is the conditions created by the air distribution system, and the microenvironment is the conditions created by the local flow around persons in combination with the surrounding conditions.

Analyses of the flow in the room (macroenvironment) show that there are a number of parameters that play an important role in minimising of airborne cross-infection. The air flow rate to the room must be high, and the air distribution pattern can be designed to have a high ventilation effectiveness. Furthermore, personalized ventilation may reduce the risk of cross-infection, and in some cases it can also reduce the source of infection. Personalized ventilation can especially be used in hospital wards, aircraft cabins and, in general, where people are located at defined positions.

Analyses of the flow in the microenvironment show that a number of variables are important, as e.g. distance between people, people's posture, surrounding temperature gradients and surrounding temperature, activity level, etc.

Experiments with tracer gas simulating droplet nuclei and experiments with large particles, simulating droplets are used for the study of airborne cross-infection risk, and for the study of droplet-borne transmission of a disease. CFD predictions are used to support the experiments and the theory developed.



## Modélisation de la distribution de particules par l'approche zonale : étude du cas d'une chambre d'hôpital

*K. C. Mendonça, M.O. Abadie, P. Blondeau  
LaSIE - Université de La Rochelle, La Rochelle, France*

L'objectif de ce travail est de présenter un modèle pour prédire l'hétérogénéité spatiale de concentration de particules dans les espaces habitables, en prenant en compte le dépôt aux surfaces solides ainsi que la remise en suspension. Ce modèle est basé sur l'approche zonale, laquelle est une méthodologie intermédiaire entre l'approche nodale, qui ignore l'hétérogénéité des locaux et les codes des champs, qui décrivent en détail l'écoulement mais à un coût de calcul élevé. Dans cette approche, l'ambiance est discrétisée dans un nombre réduit de volumes (zones) où, à l'exception de la pression qui varie hydrostatiquement, les propriétés psychrométriques de l'air sont considérées constantes. Seules les équations de bilan de masse et de l'énergie sont rigoureusement résolues pour chaque volume de contrôle. Les équations de Navier-Stokes sont remplacées par une version simplifiée de l'équation de conservation de quantité de mouvement. Ainsi, des équations empiriques et semi-empiriques sont ajoutées à cette formulation standard afin de décrire le comportement des écoulements moteurs existant dans l'ambiance étudiée. Vu l'intérêt d'intégrer le modèle zonal à un modèle multizone de thermique du bâtiment déjà consacré, le modèle en question a été développé comme un ensemble de composants (ou Type) dans la plateforme TRNSYS. De plus, pour limiter le coût numérique d'une simulation multizone zonale, la modélisation aéraulique a été découplée de celle décrivant la distribution spatiale de concentration de particules dans l'ambiance. Ainsi, les différents aspects de la modélisation aéraulique et de sa validation pour des cas de convection naturelle et forcée sont d'abord examinés. Ensuite, la modélisation de la distribution de concentration est détaillée, et ses résultats pour des cas simplifiés sont comparés aux solutions analytiques. Enfin, la distribution spatiale de particules est évaluée dans une chambre d'hôpital soumise à différentes conditions de ventilation pour illustrer l'applicabilité du modèle zonal.

\* \* \* \* \*

## Modeling particle distribution using the zonal approach: case study of a hospital room

The objective of this work is to present a model to predict the particle spatial heterogeneity in confined spaces, taking into account deposition on indoor surfaces as well as resuspension. The proposed model is based on the zonal approach, which is an intermediate methodology between nodal modeling that disregards any heterogeneity of the indoor environment and computational fluid dynamics (CFD) that gives a complete description of the flow field but requires high computational time. The classic zonal model approach uses a coarse spatial discretisation, where the psychrometric conditions of the air in each control volume are considered uniform, except for pressure that varies hydrostatically. Only the mass and energy balance equations are rigorously solved for each control volume of the domain, and the Navier-Stokes equations are replaced by a simplified version of the momentum equation. Empirical and semi-empirical equations are added to this basic formulation to describe driven-flows as jets and thermal plumes. In order to easily integrate the referred model to a whole-building simulation model, it has been developed as a set of TRNSYS components (or Types), with the flow field model decoupled from that describing the particle concentration distribution. Therefore, first of all the main aspects of the flow field model and of its validation for natural and forced convection cases are reviewed. Then, the modeling for particle concentration distribution is explained and its results for simplified cases are compared to the analytical solutions. Lastly, the applicability of the zonal model is shown by studying the particle distribution in a hospital room under different ventilation conditions.

## Performances de la ventilation d'une chambre d'hôpital dans différentes conditions de fonctionnement

A. A. Aliabadi, S. N. Rogak, S. I. Green

Department of Mechanical Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada

Les performances de la ventilation d'une chambre d'hôpital utilisant la distribution d'air sous le plancher et des systèmes hybrides a été étudiée. On a fait varier diverses conditions de fonctionnement pour observer les effets sur l'efficacité de la ventilation. Le but principal, en améliorant l'efficacité de la ventilation, est de réduire les aérosols émis lors de l'expiration par le patient dans la zone respiratoire des soignants et des visiteurs. Dans une étude paramétrique, on a fait varier la violence de l'émission (toux et éternuement), la direction d'émission (horizontale, verticale, oblique), le débit de ventilation, le mode de ventilation (par déplacement d'air, hybride), l'emplacement de l'occupant, le taux métabolique de l'occupant et les modes de chauffage/refroidissement. La stratification thermique, le confort thermique et l'efficacité de la ventilation ont été observés dans la zone respiratoire de l'occupant. Une méthode statistique a été appliquée pour établir quels paramètres influent le plus sur l'efficacité de la ventilation.

\* \* \* \* \*

## Ventilation performance of a hospital inpatient room under various operating conditions

Ventilation performance of a hospital inpatient room using underfloor air distribution and hybrid systems is studied. Various operating conditions are varied to observe the effect on ventilation effectiveness. The ultimate goal to improve ventilation effectiveness is to reduce contagious aerosols released by expiratory actions of a patient in the breathing zone of suspects (care givers and visitors). A parametric study varies injection momentum (cough and sneeze), injection direction (horizontal, vertical and inclined), ventilation rate, ventilation system (displacement and hybrid), occupant location, occupant metabolic rate, and heating/cooling modes. Thermal stratification, thermal comfort, and ventilation effectiveness are reported in the breathing zone of the occupant. A statistical method is applied to demonstrate which of the parameters affect the ventilation effectiveness the most.

## Fuites d'air lors du passage des personnes par une porte battante à l'entrée des chambres d'isolement en milieu hospitalier

P. Kalliomäki<sup>1</sup>, H. Koskela<sup>1</sup>, P. Saarinen<sup>1</sup>, P. Mustakallio<sup>2</sup>, E. Sandberg<sup>3</sup>, J.W. Tang<sup>4</sup>, A.D. Nicolle<sup>4</sup>, C.A. Klettner<sup>4</sup>, K.W. Tham<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Finnish Institute of Occupational Health, Turku, Finland

<sup>2</sup>Oy Halton Group Ltd, Finland

<sup>3</sup>Satakunta University of Applied Sciences, Hämeenlinna, Finland

<sup>4</sup>National University Hospital, Singapore

<sup>5</sup>National University of Singapore, Singapore

L'objectif de ce projet est d'étudier l'effet de différents facteurs sur les fuites d'air des chambres d'isolement en milieu hospitalier lors de l'entrée ou de la sortie des personnes. Les paramètres contrôlables sont le type de porte, la vitesse et l'angle d'ouverture, la différence de pression, la ventilation, la vitesse de passage, etc. Cette communication présente les résultats expérimentaux obtenus pour les fuites et les écoulements dans le cas d'une porte à un seul battant. Une installation à échelle réelle a été réalisée dans notre laboratoire. Elle comprenait deux pièces identiques séparées par une cloison avec une porte au milieu. La porte était dotée d'un dispositif réglable d'ouverture automatique. Le passage d'une personne était simulé par un mannequin se déplaçant sur un rail. Des vitesses, des angles et des sens d'ouverture de porte différents ont été testés. Les fuites d'air étaient mesurées au moyen de deux gaz traceurs, ce qui a permis d'effectuer les mesures dans les deux sens d'ouverture simultanément. Les gaz traceurs étaient dosés dans les deux pièces, où ils étaient mélangés au moyen de ventilateurs. Le pourcentage de fuite était calculé sur la base des ratios de concentration après l'ouverture de la porte et le passage d'une personne. Les configurations d'écoulement créées par le mouvement de la porte et du mannequin étaient visualisées par de la fumée. Un plan horizontal ou vertical était éclairé par un plan lumineux et le mouvement de la fumée était enregistré avec une caméra vidéo. Il est prévu d'utiliser les cartes expérimentales d'écoulement pour valider des simulations CFD en régime transitoire et des mesures sur une maquette à échelle réduite en eau. Les résultats montrent que le fait d'ouvrir la porte battante crée un important flux d'air avec des fuites significatives de la chambre d'isolement. Le passage d'une personne avait moins d'effet que l'ouverture de la porte. Les prochaines phases du projet permettront d'effectuer des mesures sur d'autres types de porte et d'évaluer les effets de la différence de pression et de la ventilation.

\* \* \* \* \*

## Air leakage from a hospital isolation room during passage through a hinged door

The aim of this project is to study the effect of different factors on the air leakage from the hospital isolation room when a person enters or leaves the room. The controllable parameters include door type, opening speed and angle, pressure difference, ventilation, walking speed, etc. This paper presents the experimental leakage results and flow patterns with a single hinged door. A full-scale test setup was built in our laboratory. It consists of two identical rooms separated by a wall with a door in the middle. The door was opened automatically by an adjustable door operator. The movement of a person was simulated with a manikin moving along a rail. The experiments were carried out with different door opening speeds, angles and directions. The amount of air leakage was measured with two tracer gases, enabling the measurement of two opening directions simultaneously. The tracers were dosed to the two rooms and their concentrations were mixed with fans. The percentage of leakage was then calculated from the concentration ratios after the door and person movements. The flow patterns created by the moving door and manikin were visualized with smoke. A horizontal or vertical plane was illuminated with a light sheet and the movement of smoke was recorded with video camera. The experimental flow patterns will later be used to validate transient CFD-simulations and small-scale water model measurements of the test scenarios. The results show that opening the basic hinged door creates a strong flow pattern with notable leakage from the isolation room. The effect of the moving person was not as strong as that of the door movement. The project will continue with measurements of other door types and the effects of pressure difference and ventilation.

## Les différents modes d'ouverture des portes comme facteurs contribuant aux ruptures de confinement dans les chambres d'isolement à l'hôpital

J.W. Tang<sup>1</sup>, C.A. Klettner<sup>1</sup>, A.D. Nicolle<sup>1</sup>, J. Pantelic<sup>2</sup>, R.K. Su<sup>1</sup>, H. Koskela<sup>3</sup>, P. Mustakallio<sup>4</sup>, P. Kalliomäki<sup>3</sup>, D.K.W. Cheong<sup>2</sup>, C. Sekhar<sup>2</sup>, K.W. Tham<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National University Hospital, Singapore

<sup>2</sup>National University of Singapore, Singapore

<sup>3</sup>Finnish Institute of Occupational Health, Finland

<sup>4</sup>Oy Halton Group Ltd, Finland

Divers types de portes sont utilisés dans l'aménagement des chambres d'isolement destinées à recevoir des patients infectieux ou immunodéprimés. Cette variabilité de conception peut être due à l'espace disponible et/ou à des questions de coût. En utilisant un colorant alimentaire, nous avons étudié visuellement les effets qualitatifs des modes d'ouverture des portes sur la dissémination d'air potentiellement contaminé vers et depuis une chambre d'isolement individuelle ; pour cela, nous avons utilisé des modèles réduits hydrauliques simplifiés, en similitude de Reynolds, avec prise de vues par caméra multi-angle et mouvements d'ouverture de porte et de passage des personnes programmables. Ces maquettes hydrauliques ont été conçues avec soin, pour qu'il soit possible d'extrapoler les résultats aux conditions réelles. Quatre types de portes ont été testés : portes coulissantes simple et double, portes battantes simple et double, en combinaison avec une personne entrant dans la pièce ou en sortant. Les images vidéo ont été éditées, synchronisées et présentées dans des séries d'écrans divisés. Il ressort de cette expérience que les portes battantes doubles sont celles qui présentent le plus grand risque de fuite vers ou depuis la chambre, suivies, par niveau de risque décroissant, des portes battantes simples, des portes coulissantes doubles et des portes coulissantes simples. L'effet relatif des déplacements humains sur la propagation d'une contamination potentielle était maximal avec les portes coulissantes, car le flux d'air total induit était important par rapport à celui résultant de la seule ouverture de porte. Cependant, dans le cas des portes battantes, les flux d'air induits par l'ouverture étaient nettement plus importants. D'autres expériences avec simulation d'une ventilation sont nécessaires, mais au vu des résultats obtenus, il apparaît déjà que les portes coulissantes sont beaucoup plus efficaces pour l'aménagement des chambres d'isolement à l'hôpital.

\* \* \* \* \*

## Different types of door-opening motions as contributing factors to containment failures in hospital isolation rooms

Many different types of door designs are used in the construction of hospital isolation rooms for housing either infectious or immunocompromised patients. This variability in design may be related to the space available and/or affordability. Using colored food dye, this study investigates, visually, the qualitative effects of door-opening motions on the dissemination of potentially contaminated air into and out of a single isolation room using simplified, Reynolds-number equivalent, small-scale, water-tank models, with multi-angle camera views and programmable door-opening and human figure motions. The construction of these water-tank models were carefully designed to allow these results to be accurately extrapolated to the full-scale situation. Four simple types of door design were tested: single- and double-sliding doors; single and double-hinged doors, in combination with the human figure both entering and leaving the room. The resulting video footage was edited, synchronized and presented in a series of split-screen formats. From these experiments, it is clear that double-hinged doors pose the greatest risk of leakage into or out of the room, followed by (in order of decreasing risk) single-hinged, double-sliding and single-sliding doors. The relative effect of the moving human figure on spreading any potential contamination was greatest with the sliding doors, as the bulk airflows induced were large relative to those resulting from these door-opening motions. However, with the hinged doors, the airflows induced by these door-opening motions were significantly greater. Further experiments involving a simulated ventilated environment are required, but from these findings alone, it appears that sliding-doors are far more effective for hospital isolation room design.

## Ventilation des tables de découpe automatisée des métaux

R. Braconnier

INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

Les opérations de coupage thermique des métaux (par oxycoupage, coupage plasma ou découpe laser) à l'aide de machines automatisées s'accompagnent d'un dégagement de particules fines et de gaz. Cette étude a permis de caractériser les spécificités de l'aérodynamique des systèmes de captage équipant les tables de découpe automatisée des métaux. Des simulations numériques d'écoulement ont été réalisées à l'aide d'un logiciel de mécanique des fluides numérique. Ces simulations ont porté sur une table ventilée par zones à l'aide de fentes d'aspiration ménagées dans les parois latérales du bac à scories. Elles ont permis de mieux appréhender la structure détaillée des écoulements au voisinage de la table et en particulier de caractériser les écoulements d'air qui traversent les divers passages mettant en communication le caisson sous aspiration avec le reste de l'atelier, écoulements qui s'opposent aux fuites potentielles de polluant. L'examen des champs de vitesse met en évidence la présence simultanée de passages d'air supérieurs situés au niveau de la tôle à découper et de passages inférieurs, internes à la table support et situés sous la tôle, qui connectent entre eux les caissons adjacents. Le débit d'air passant au travers des passages inférieurs représente, dans le cas général, 12 à 25 % du débit total extrait et peut s'élever jusqu'à 69 % pour les fortes valeurs du taux de couverture horizontale du caisson actif. Les vitesses d'air régnant dans les différents passages sont fortement influencées par la valeur du taux de couverture du caisson actif. La plus faible de ces vitesses caractérise la robustesse de confinement des polluants procurée par le système de ventilation. Les simulations effectuées indiquent que, dans la quasi-totalité des cas, cette vitesse minimale se situe dans un passage inférieur, c'est-à-dire dans une zone difficilement accessible pour des contrôles sur site par anémométrie. L'influence de différents paramètres de fonctionnement sur la répartition des vitesses d'air induites par le système de ventilation a été étudiée : dimensions et position de la tôle à découper sur la table support, extraction d'air par des fentes unilatérales ou bilatérales, position du point de découpe par rapport à la longueur de la table, présence d'écrans de protection périphériques, existence de courants d'air dans l'atelier de découpe.

\* \* \* \* \*

## Ventilation of automated metal cutting tables

Thermal metal cutting operations (oxygen cutting, plasma cutting and laser cutting) using automated machinery is accompanied by the release of fine particles and gas. This study resulted in the characterization of the specific airflow dynamic features of capture systems fitted to automated metal cutting tables. Numerical air flow simulations were conducted using a computational fluid dynamics software package. They were focused on a table ventilated in zones by means of suction slots fitted to the lateral panels of the dross box. These simulations allowed a better understanding of the detailed structure of the air streams in the vicinity of the table and, in particular, characterization of the air streams transiting through the various passages connecting the compartment under suction with the remainder of the workshop. These air streams counteract potential pollutant leaks. The examination of the velocity fields highlighted the simultaneous presence of upper air passages located at plate metal cutting level and lower passages, inside the supporting table and located below the plate, which connect adjacent compartments to each other. The air flow passing through the lower passages represents, generally speaking, 12 to 25% of the total flow rate extracted and can rise to 69% for high values of horizontal coverage rate of the active compartment. The air velocities prevailing in the different passages are strongly influenced by the coverage rate value of the active compartment. The lowest of these velocities characterizes the pollutant confinement robustness provided by the ventilation system. The simulations carried out indicate that in virtually every case this minimum velocity is located in a lower passage, i.e. in a zone difficult to access for onsite anemometry checks.

## Maîtrise des risques d'explosion d'atmosphères explosives (ATEX) dans les réseaux de captage à la source de gaz, vapeurs ou poussières inflammables

A. Janès, J. Chaineaux

INERIS, Accidental Risks Division, Verneuil en Halatte, France

Le retour d'expérience montre que les réseaux de captage de produits inflammables à l'état de gaz, de vapeurs ou de poussières ainsi que les équipements associés sont impliqués dans une part non négligeable des explosions d'atmosphères explosives (ATEX) sur les lieux de travail, alors même que leur fonction première est de réduire les risques d'exposition des travailleurs à des substances dangereuses pour la santé et les risques d'explosion. En effet, lors du captage de substances inflammables, le réseau de captage peut présenter un risque de formation d'ATEX dans un système de séparation, dans un ventilateur ou encore au point de rejet de l'air dans l'atmosphère. Qu'il s'agisse de poussières, de gaz ou de vapeurs, le risque de formation d'ATEX dans les réseaux et les équipements associés peut être évalué et réduit. Pour ce faire, il est nécessaire de prendre en compte les phénomènes physiques à l'origine de la formation des ATEX et les caractéristiques des produits considérés. Les conditions de formation d'une ATEX ainsi que le volume d'ATEX formée à partir d'un liquide ou d'un gaz inflammable seront présentés dans certaines géométries simples. Une fois ce risque évalué et pris en compte, il est possible de classer les emplacements dangereux qui subsistent, conformément aux définitions réglementaires des zones à risque d'explosion. Il est ensuite nécessaire de vérifier que les mesures destinées à réduire le risque d'inflammation sont adaptées. Enfin, il y a lieu de mettre en œuvre des dispositifs de protection des installations afin d'éviter les effets dangereux sur les personnes. Bien que cette démarche puisse être appliquée à toute installation existante, certaines difficultés techniques peuvent être évitées si la prise en compte du risque de formation et d'inflammation des ATEX formées intervient au plus tôt, dès la conception de l'installation.

\* \* \* \* \*

## ATEX risk management in flammable gas, vapour or dust extraction networks

The survey of explosive atmospheres (ATEX) explosions in workplaces shows that flammable gas, vapour or dusts extraction networks and their associated equipments are involved in a significant proportion of accidents, even though their primary function is to reduce worker exposure either to hazardous substances or to the explosion risk. By collecting flammable substances, an ATEX may be present in the extraction network, a separation device, a fan or at the air discharge point in the atmosphere. Whether dust, gases or vapors are considered, the risk of an ATEX in networks and related equipment can be assessed and reduced. It is therefore necessary to take into account the physical phenomena involved in the ATEX formation and the physical and chemical characteristics of the products. The conditions of an ATEX formation, as well as its volume, will be presented for some simple geometry cases. Once this risk is assessed, it is possible to classify remaining hazardous areas according to regulatory definitions. It is then necessary to ensure that measures to reduce the ignition risk are adapted. Lastly, mechanisms to protect facilities must be implemented in order to avoid harmful effects on workers. Although this approach can be applied to any existing installation, technical difficulties can be avoided if the ATEX risk is considered early in the design process.

## Évaluation des performances des systèmes d'aspiration des fumées de bitume équipant les finisseurs

*F. Bonthoux, C. Patrascu  
INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

Entre 2009 et 2011, l'INRS a évalué les performances des systèmes d'aspiration des fumées de bitume équipant les finisseurs utilisés pour réaliser le revêtement des routes. Destiné à réduire l'exposition du conducteur de la machine, le dispositif capte les fumées au niveau de la vis de répartition de l'enrobé à chaud, siège principal des émissions, pour les rejeter en partie haute de la machine avec une vitesse suffisante pour éviter les retours vers le poste de pilotage. L'évaluation a été réalisée par gaz traceur (SF6) en se basant sur le protocole proposé par le NIOSH. Les premiers tests ont montré les limites de cette méthodologie, notamment par les effets indésirables sur la mesure de la mise en situation de la machine dans un hall d'essais ; la mise en place de bâches en vue d'isoler la machine du rejet d'air capté modifie largement les écoulements. La poursuite des tests par gaz traceur à l'extérieur, en situation plus représentative d'un fonctionnement réel, a permis de montrer que pour ces machines, le captage devait impérativement être intégré dès la conception. L'implantation des divers systèmes de refroidissement (moteur diesel, compresseur hydraulique), dont les rejets, s'ils sont mal orientés, dégradent fortement l'efficacité du captage, doit faire l'objet d'une attention particulière.

\* \* \* \* \*

## Evaluation of bitumen fumes capture efficiency on finishers

Between 2009 and 2011, INRS has evaluated the performance of bitumen fumes extraction systems fitted on road paver finishers. Used to reduce the exposure of the driver, the device captures fumes at the auger, where a large part of emissions is generated, and discharges them at the top of the machine with sufficient velocity to prevent them from returning to the cockpit. The evaluation was conducted with tracer gas (SF6), based on the protocol proposed by NIOSH. Initial tests have shown the limits of this methodology, including adverse effects on the measurement due to the positioning of the machine in a test hall; the setting up of sheeting to isolate the machine from air exhaust largely modifies the flow field. The continuation of tracer gas tests outside, in a situation more representative of real operation, has shown that for these machines, the capture device should necessarily be incorporated in the design. Particular attention should be paid during the implementation of the various cooling systems (diesel engine, hydraulic compressor) whose discharge, if poorly directed, greatly degrades the capture efficiency.



## Effacité des filtres à particules diesel utilisés dans les travaux souterrains et retour d'expérience

A. Mayer

TTM, Niederrohrdorf, Switzerland

Des mesures réalisées en Suisse par la Suva (autorité de santé au travail) ont montré une amélioration remarquable de la qualité de l'air aux postes de travail lors du creusement de tunnels, après l'entrée en vigueur en 2000 de l'obligation de filtration des émissions moteurs : alors que la teneur en carbone élémentaire dans l'air ambiant était généralement de l'ordre de  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , on trouve aujourd'hui des niveaux de  $30\text{-}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , donc très proches du niveau de pollution de l'air de ventilation, voire inférieurs. Ces résultats ont déjà permis de réduire le débit de ventilation de 4 à  $2 \text{ m}^3/\text{kWmin}$ . Une réduction de la valeur limite (actuellement fixée à  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) est envisagée. Toutefois, le système de piégeage fonctionne comme un réacteur chimique. Le filtre possède une grande surface efficace et les gaz d'échappement des moteurs contiennent de multiples composants qui peuvent être à l'origine de réactions chimiques indésirables se traduisant par des émissions toxiques secondaires. Ces effets peuvent être amplifiés si les pièges ont un effet catalytique dû par exemple à un revêtement de surface ou à des catalyseurs contenus dans le carburant. Les tests de qualité VERT pour les systèmes de pièges à particules comportent donc une procédure d'essai destinée à rechercher la présence de plus de 200 substances toxiques (HAP, nitro-HAP, dioxines chlorées et furanes, métaux, en particulier).

\* \* \* \* \*

## Efficiency and experience with DPF used in underground workplaces

Measurements by the occupational health authority of Switzerland SUVA demonstrated a remarkable improvement of air quality in tunneling working places after implementation of the so-called "Filter-Obligatorium" in year 2000: while EC-content in ambient air used to be as high as  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  we now find levels of  $30\text{-}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - which are very close or even lower than the pollution of the ventilation air. This result has already permitted to reduce the ventilation rate from 4 to  $2 \text{ m}^3/\text{kWmin}$ . A reduction of the threshold from now  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is under discussion. The trap system however functions as a chemical reactor. The filter has a large effective surface and the engine exhaust gas has plenty of reactants, which can promote undesirable chemical reactions that release toxic secondary emissions. These effects may be amplified when traps have catalytic influence, e.g. due to surface coatings or fuel-borne catalysts. The VERT suitability tests for particle trap systems therefore include a detailed test procedure for verifying the presence of over 200 toxic substances. These include PAH, nitro-PAH, chlorinated dioxins and furans as well as metals.

## Optimisation des diffuseurs en forme de panneau perforé à orifices lobés : étude numérique de la disposition des orifices

A. Meslem<sup>1</sup>, I. Nastase<sup>2</sup>, C. Beghein<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of La Rochelle, France.

<sup>2</sup>University of Civil Engineering in Bucharest, Romania

Les systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air sont essentiellement conçus pour garantir la bonne qualité de l'air et le confort thermique à l'intérieur des locaux. Cependant, les exigences en matière d'énergie vont dans le sens d'une réduction des taux de renouvellement d'air dans les bâtiments. Le contrôle passif de l'écoulement des jets d'air aux fins d'améliorer le mélange et l'entraînement peut permettre de résoudre ce problème. Notre objectif est de développer de nouveaux diffuseurs d'air pour améliorer le confort thermique des utilisateurs et la qualité de l'air. Lorsque le diffuseur est en forme de panneau perforé à orifices lobés (Meslem et al., 2010), l'induction des jets peut être améliorée en optimisant l'espacement entre orifices voisins et la disposition des orifices sur le panneau. L'objectif est de concevoir un diffuseur en forme de panneau perforé avec un taux d'induction et un taux de perforation élevés. Le champ d'écoulement de deux jets coalescents turbulents en forme de croix a fait l'objet récemment d'une étude expérimentale et numérique (Meslem et al., 2011) pour différents modèles de turbulence. En comparant aux valeurs mesurées par vélocimétrie par image de particules, on a établi que, parmi les modèles de turbulence examinés, le modèle SST k-epsilon était capable de reproduire convenablement l'interaction des jets, leur expansion globale et l'induction de l'air ambiant lorsque le flux est résolu numériquement à travers le diffuseur lobé. Dans le cadre de ces travaux, nous analysons, sur la base du modèle de turbulence SST k-epsilon et de ses résultats expérimentaux validés, les simulations numériques des jets en croix parallèles effectuées dans différentes configurations d'écoulement. Cette étude traite de l'effet de la disposition des orifices et de leur espacement sur l'induction des jets. L'étude paramétrique a mis en évidence une configuration optimale qui sera transposée à l'échelle réelle.

\* \* \* \* \*

## Optimisation of a lobed perforated panel diffuser: numerical study of orifices arrangement

Heating Ventilating Air Conditioning systems are primarily designed for ensuring good indoor air quality and thermal comfort. However, building energy requirements tend to put demand on reducing air change rates. Passive control of jets flows in order to enhance mixing and entrainment may be a solution to this problem. Our purpose is to develop new air diffusers, in order to ameliorate the users' thermal comfort and air quality. When the diffuser is a lobed perforated panel (Meslem et al., 2010), the optimization of jet induction consists in optimizing the spacing between neighboring orifices and their relative arrangement on the panel. The objective is to conceive a perforated panel diffuser with high induction and high perforation rate. In a recent study (Meslem et al., 2011) the flow field of turbulent twin cross-shaped jet was investigated experimentally and numerically using different turbulence models. In comparison to Particle Image Velocimetry measurements, it was shown that among the investigated turbulence models, the SST k-epsilon model is capable of reproducing reasonably well jets interaction, global expansion and ambient air induction when the flow is numerically resolved through the lobed diffuser. Based on the previous experimental validation of the SST k-epsilon turbulence model, in this work, numerical simulations of parallel cross-shaped jets in different flow configurations are analysed using this model. This study deals with the effect of orifices arrangements and spacing on jet induction. The parametric study put into evidence an optimal configuration which will be transferred to the scale of a real air diffuser.

## Modèle CFD pour un diffuseur à jet hélicoïdal en modes « chauffage » et « refroidissement »

H. Koskela, H. Maula

Finnish Institute of Occupational Health, Turku, Finland

L'objectif de cette étude était de développer un modèle CFD simplifié pour le jet d'entrée d'un diffuseur hélicoïdal aux fins de simulation des écoulements de l'air intérieur. Le diffuseur hélicoïdal crée un écoulement complexe avec une forte induction d'air, ce qui ne facilite pas la simulation. Le modèle de diffuseur étudié était destiné à être utilisé dans de grands locaux. La configuration d'écoulement était modulable selon les deux modes de base : jet hélicoïdal radial pour le refroidissement et jet hélicoïdal compact descendant pour le chauffage. Pour développer le modèle CFD, une série de mesures des champs d'écoulement a été effectuée en laboratoire. Les conditions limites applicables au diffuseur ont été déterminées à partir des champs de vitesses mesurés proches de la surface du diffuseur. Pour valider le modèle, les distributions de vitesse ont été mesurées à différentes distances du diffuseur. L'objectif était de développer un seul modèle pouvant être utilisé à la fois pour le paramétrage du chauffage et du refroidissement. Les dimensions du modèle ont été calquées plus ou moins sur la géométrie du diffuseur. Les conditions limites ont été calculées à partir de la quantité de mouvement et des débits massiques mesurés aux ouvertures du diffuseur. La perte de quantité de mouvement estimée entre le diffuseur et le plan de mesure le plus proche a été ajoutée à la quantité de mouvement à l'entrée. Le modèle développé a été validé dans des conditions isothermes pour les deux modes et dans des conditions non isothermes pour le mode « chauffage ». On a pu constater que le modèle permettait de prédire de manière satisfaisante les écoulements et les vitesses dans les deux modes. Deux modèles de turbulence ont été utilisés lors des simulations : k-epsilon et SST. Les différences entre les résultats des deux modèles étaient relativement faibles. Le modèle SST a mieux prédit l'étalement du jet d'entrée tandis que la vitesse maximale du jet mesurée avec le modèle k-epsilon a mieux concordé avec les valeurs mesurées.

\* \* \* \* \*

## CFD-model for a swirl diffuser for heating and cooling modes

The aim of the study was to develop a simplified CFD model for the inlet jet of a swirl diffuser for the simulation of room air flow patterns. The swirl diffuser creates a complex flow pattern with high induction of room air thus possessing a challenge for simulation. The studied diffuser was a model intended to be used in large enclosures. The flow pattern was adjustable between two basic modes: radial swirl jet for cooling conditions and compact downward swirl jet for heating conditions. For developing the CFD model, a series of laboratory measurements of the flow field was carried out. The boundary conditions for the diffuser were determined from the near field velocity measurements close to the diffuser surface. For validating the model, velocity distributions were measured at different distances from the diffuser. The aim was to develop a single model that can be used for both heating- and cooling adjustments. The dimensions of the model were designed to follow approximately the geometry of the diffuser. The boundary conditions were calculated from the measured momentum and mass flow rates from the diffuser openings. The estimated momentum loss between the diffuser and the nearest measurement plane was added to the inlet momentum. The developed model was validated in isothermal conditions for both adjustments and for non-isothermal conditions for the heating mode. The model was found to predict well the flow patterns and velocity levels in both modes. Two turbulence models were used in the simulations, k-epsilon and SST. The differences between the results of the two models were relatively small. The SST model predicted the spread of the inlet jet better, whereas with the k-epsilon model the maximum speed of the jet was better in accordance with the measurements.

## Étude numérique et expérimentale du comportement fluide d'un système de ventilation à jets confluents dans des locaux industriels

K. Svensson<sup>1</sup>, S. Ghahremanian<sup>1,2</sup>, B. Moshfegh<sup>1,2</sup>, M. Tummers<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Division of Energy Systems, Department of Management and Engineering, Linköping University, Sweden

<sup>2</sup>Division of Energy and Mechanical Engineering, Department of Technology and Built Environment, University of Gävle, Sweden

<sup>3</sup>Department of Multi-Scale Physics, Faculty of Applied Sciences, Delft University of Technology, The Netherlands

En milieu industriel, un système de ventilation général par mélange ou déplacement d'air est souvent peu efficace et se traduit par de faibles taux de renouvellement d'air. Il est possible d'améliorer l'efficacité de la ventilation dans les locaux industriels en installant un système de ventilation à jets confluents. Ce système peut être décrit comme une série de jets libres émis dans un plan, parallèlement les uns aux autres. À proximité du diffuseur, les jets confluents se comportent comme des jets séparés ; en aval, ils se mélangent puis finissent par se comporter comme un seul jet. Le principal avantage de ce système est son efficacité à maintenir une quantité de mouvement élevée. Celle-ci rend le système moins sensible aux perturbations mécaniques et à la poussée d'Archimède qu'un système de ventilation par déplacement d'air. Cet effet peut être mis à profit pour rendre la ventilation plus efficace. L'objectif de cette étude est d'examiner les avantages que peut procurer l'utilisation d'un système de ventilation à jets confluents et d'étudier par des méthodes expérimentale et numérique le comportement du flux d'air produit par un système à jets confluents à proximité du diffuseur. Elle porte sur un système constitué de 36 jets disposés en ligne, à équidistance les uns des autres. Le nombre de Reynolds (Re) du jet est de 3290. Les valeurs ont été mesurées par anémométrie laser à effet Doppler (LDA) et par vélocimétrie par image de particules (PIV) jusqu'à une distance du diffuseur égale à vingt fois le diamètre de la buse de soufflage. On a eu recours à une simulation RANS pour prédire le champ de vitesses moyen et les caractéristiques de turbulence de la configuration à jets confluents. Les valeurs mesurées sont comparées aux prédictions numériques ainsi qu'aux données théoriques correspondant au cas classique de ventilation monojet.

\* \* \* \* \*

## Numerical and experimental investigation of flow behavior in a confluent jet ventilation system for industrial premises

A conventional supply principal, such as mixing or displacement ventilation, in industrial applications often results in low ventilation efficiency and low air exchange rates. A possible way to improve the ventilation efficiency in industrial premises is to implement a new type of supply system named confluent jet ventilation. The confluent system can be described as a number of free jets issued in a plane, parallel to each other. Close to the diffuser, the confluent jets behave as separate jets but downstream the jets starts to merge with each other and eventually they behave as one single jet. The main advantage of the confluent jet system is its ability to conserve momentum in an efficient way. The high level of momentum makes the ventilation system less sensitive to mechanical disturbances and buoyancy forces than displacement ventilation. This effect can be used to enhance the ventilation efficiency. The purpose of this study is to explore the possible benefits of using a confluent jet supply system and to investigate both experimentally and numerically the flow behavior of a confluent jet system in the region close to the diffuser. In the present study, a system consisting of 36 jets with an in-line arrangement using equidistant spacing has been studied. The Reynolds number of the jet is  $Re = 3290$ . Measurements with Laser Doppler Anemometry (LDA) as well as Particle Image Velocimetry (PIV) have been performed in a region extending out to a downstream distance of twenty times the nozzle diameter. A RANS simulation has been used to predict the mean velocity field and the turbulence characteristics of the confluent jet configuration. The measurements are compared with numerical predictions as well as with theoretical data for the conventional single jet case.

## Modélisation des flux d'air à l'intérieur des poutres froides actives

H. Freitag, D. Müller

*Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen University, Germany*

L'écoulement au sein d'une poutre froide active est caractérisé par des gradients de vitesse localement élevés et des régimes d'écoulement différents se traduisant par de fortes variations du nombre de Reynolds. Selon la géométrie de la poutre, on peut observer simultanément des écoulements types tels que des jets libres circulaires et plats, des jets déformés, des écoulements à forte déflexion avec des phénomènes de séparation et de rattachement à la paroi. Pour déterminer les conditions d'écoulement internes par CFD, il faut trouver des compromis dans le choix du modèle de calcul, car les modèles courants sont excellents pour certains types d'écoulements et moins bons pour d'autres. On comparera le champ d'écoulement interne d'une poutre froide active de forme générique, établi par calcul, aux données expérimentales. Les simulations sont réalisées en utilisant les modèles de turbulence RANS (Reynolds averaged Navier-Stokes) courants. Des modifications des paramètres du modèle sont envisagées pour obtenir les réglages adaptés à la prédiction des valeurs cibles recherchées, à savoir un profil de vitesse de sortie, ou un taux d'air induit, par exemple.

\* \* \* \* \*

## Modelling the internal airflow in active chilled beams

The flow inside an active chilled beam is characterized by high local velocity gradients and different flow regimes resulting in large variations of the Reynolds number. Depending on the geometry of the beam, typical flow features like round and planar free jets, deformed jets, strong flow deflection, separation and wall attachment occur simultaneously. When determining the internal flow conditions by CFD methods, compromises have to be made in the choice of the computational model, since commonly used models are known to excel in certain types of flow while performing worse in others. In this paper, the calculated internal flow field of a generic active chilled beam geometry is compared to experimental data. Simulations use common Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) turbulence models. Modifications of the model parameters are considered in order to find suitable settings for the prediction of desired target values, e.g. outlet velocity profile or induction ratio.

## Test grandeur nature et simulation CFD des conditions climatiques à l'intérieur des locaux, en cas de ventilation par déplacement d'air, selon la hauteur des locaux et les modèles de CFD

P. Mustakallio<sup>1</sup>, M. Rosenqvist<sup>2</sup>, Y. Sinai<sup>3</sup>, R. Kosonen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Oy Halton Group Ltd., Helsinki, Finland

<sup>2</sup>Satakunta Polytechnic, Pori, Finland

<sup>3</sup>HeatAndFlow Consultancy Ltd., Oxfordshire, United Kingdom

Les tests grandeur nature et la simulation CFD sont couramment utilisés pour vérifier que l'ambiance thermique à l'intérieur des locaux est conforme aux critères de conception, en cas de ventilation par déplacement d'air. On a comparé les prédictions obtenues par ces deux méthodes. Pour les tests, l'installation comportait deux diffuseurs à déplacement d'air, et un extracteur en partie haute, dans une pièce bien isolée, pour des hauteurs de plafond de 5,2 et 3,5 m. La charge thermique interne était constituée de 10 personnes, de l'action du soleil sur les vitres et de systèmes d'éclairage fluorescent. La stratification verticale des températures et la température au thermomètre à boule noire étaient mesurées et comparées aux résultats de la simulation CFD. La simulation CFD était réalisée avec un maillage de bonne qualité. Les modèles de turbulence SST / k-e / RNG k-e ont été utilisés, avec modélisation de la poussée d'Archimède de l'air et du rayonnement. Deux méthodes de modélisation étaient utilisées pour le diffuseur à déplacement. Des simulations étaient également réalisées en utilisant un modèle différent pour le rayonnement. La stratification des températures prédite par CFD avait une forme proche de celle obtenue par mesurage. La température dans la partie basse de la pièce était plus faible dans la simulation CFD que dans le test grandeur nature. Cela tient en partie au modèle CFD couramment utilisé pour le diffuseur à déplacement d'air, avec la surface d'admission d'air entièrement ouverte et la source de quantité de mouvement donnant des vitesses réalistes mais un mélange trop restreint de l'air neuf et de l'air ambiant. Lorsque le coefficient d'absorption était modifié, dans le modèle de rayonnement par transfert discret utilisé, la stratification des températures était améliorée. Dans la modélisation de la turbulence, on notait des différences entre les prédictions par CFD et par test grandeur nature. La modélisation de la turbulence par un modèle RANS pour les panaches thermiques n'introduit pas suffisamment de mélange en partie basse du local. Les simulations CFD peuvent être utilisées pour la prédiction des conditions ambiantes dans le local dans le cas de la ventilation par déplacement d'air si l'on connaît les différences possibles entre les conditions mesurées et simulées.

\* \* \* \* \*

## Full-scale test and CFD-simulation of indoor climate conditions in a displacement ventilation case with different room heights and CFD models

Full-scale test and CFD-simulation have been commonly used to ensure indoor climate conditions to meet the indoor climate design criteria in displacement ventilation cases. This paper compares indoor climate predictions with both methods. The test setup consists of two displacement diffusers and ceiling exhaust in well-insulated room with room heights of 5.2m and 3.5m. The internal heat loads consist of 10 persons, solar load on window surface and fluorescent lighting units. Vertical temperature stratification and black ball temperature was measured and compared to the CFD-simulation results. CFD-simulation is done with good quality grid, SST/k-e/RNG k-e turbulence model, with buoyancy and radiation modelling. Two modelling methods of were used for displacement diffuser. Simulations were performed also with modified radiation modelling. The predicted temperature stratification in the CFD-simulations has similar form as in the measured temperature stratification. The temperature in lower part of the room is still significantly lower in the CFD-simulation than in the full-scale test. This is partly caused by commonly used CFD model for displacement diffuser with fully open inlet area and momentum source giving realistic velocities but too low mixing of the supply air and room air. When modifying the absorption coefficient in the used discrete transfer radiation model it also improved the temperature stratification. The turbulence modelling was causing differences between the CFD and full-scale test predictions. RANS turbulence modelling of the thermal plumes doesn't introduce enough mixing in the lower part of the room. CFD-simulations can be used for prediction of indoor climate with displacement ventilation when knowing the possible differences between measured and simulated conditions.

## Amélioration de l'efficacité de la ventilation localisée en milieu de travail

*John Saunders, Health and Safety Laboratory, Buxton, United Kingdom*

La ventilation localisée est une solution d'ingénierie conçue pour réduire l'exposition des travailleurs aux polluants aéroportés tels que les poussières, brouillards, fumées, vapeurs ou gaz ; elle constitue souvent la principale mesure de prévention de l'exposition employée sur le lieu de travail. Cependant, dans bien des cas, la ventilation localisée ne permet pas de protéger efficacement les travailleurs, et ce pour une série de raisons, à savoir notamment :

- mauvaise conception du système de ventilation localisée ; conception inadaptée au processus,
- mauvaise maintenance des systèmes,
- insuffisance voire absence de formation des travailleurs.

Cet atelier sera l'occasion d'étudier pourquoi les systèmes de ventilation localisée sont inefficaces et d'examiner comment améliorer leurs performances.

Une série d'intervenants venus d'horizons divers et s'intéressant aux performances des systèmes de ventilation localisée (préventeurs, chercheurs, concepteurs de machines et de systèmes de ventilation localisée, etc.) tenteront de répondre à ces questions par des présentations de courte durée. Ils donneront leur point de vue sur les raisons pour lesquelles la ventilation localisée est inefficace et sur les moyens qui permettraient d'en améliorer les performances. L'atelier comprendra une description de la démarche adoptée par certains pays pour améliorer la prévention par la ventilation localisée.

Une séance de questions-réponses et une brève discussion viendront clôturer l'atelier.



## Improving the effectiveness of LEV in the workplace

Local Exhaust Ventilation (LEV) is an engineering control designed to reduce worker exposure to airborne contaminants, such as dust, mist, fume, vapour or gas and is often the primary exposure control measure used in the workplace. However, for a variety of reasons, LEV often fails to satisfactorily protect the worker. The reasons for this ineffective control are many and varied, but can include:

- Poor initial LEV design – design not matched to the process,
- Badly maintained systems,
- Little or no worker training.

This workshop will further explore the reasons for LEV failure and will examine how LEV performance can be improved.

This will be achieved through a series of short presentations from a diverse range of presenters who have an interest in LEV performance, including Health and Safety enforcement offices, researchers, machine designers and LEV designers. The presenters will offer their own personal view of why LEV fails and how its effectiveness in the workplace can be improved. The workshop will include a description of the approach some countries have taken to improve LEV control.

There will be time for questions and a short discussion at the end of the workshop.





**Mardi 18 septembre**  
**Tuesday, 18 September**

## Bruit des systèmes de ventilation

*Alain Guédel, CETIAT, Villeurbanne, France*

Le bruit des systèmes de ventilation domestiques et industriels fait l'objet de plaintes fréquentes de la part des habitants des immeubles ainsi que des employés et riverains des installations industrielles concernées. L'objectif de cette présentation est de recenser les principales sources de bruit des circuits de ventilation et d'expliquer comment leur niveau de bruit peut être estimé et réduit.

L'une des toutes premières sources de bruit est le ventilateur proprement dit. On explique l'origine du bruit en fonction du type de ventilateurs et on montre comment mesurer et estimer de manière approchée le niveau sonore d'un ventilateur afin d'établir un diagnostic acoustique des installations concernées. On présente ensuite quelques méthodes de réduction du bruit des ventilateurs.

Une autre source de bruit est celle liée au passage de l'écoulement d'air à travers les différents composants du circuit lorsque la vitesse d'air dépasse environ 5 m/s. L'origine du bruit généré par l'écoulement et les mécanismes d'atténuation du bruit dans les gaines sont expliquées. Quelques données expérimentales sont présentées pour quantifier l'importance de ces mécanismes.

Même s'il est préférable de réduire le bruit à la source, l'un des moyens les plus utilisés pour réduire le bruit d'un système de ventilation est d'insérer dans le circuit un ou plusieurs silencieux si l'encombrement le permet. Un point est fait sur les performances des silencieux passifs et actifs, avec les avantages et inconvénients des différentes solutions.



## Ventilation system noise

The noise in domestic and industrial ventilation systems is a frequent source of complaints from the people living in apartments and houses as well as from workers in industrial installations and people living nearby. The objective of this presentation is to provide a short overview of the main causes of noise in ventilation systems and to explain how the noise may be anticipated and reduced.

A major source of noise is the fan itself. We explain the origin of noise according to the fan type and we show how to measure and roughly estimate the fan noise level in order to make acoustic diagnostics on existing installations. Then, we present some means of fan noise control.

Another source of noise is the passage of the air flow through the various components of the ventilation ductwork when the flow velocity is higher than about 5 m/s. The causes of flow-generated noise and noise attenuation through the system are explained and some test data is presented to quantify these mechanisms.

While a reduction at the source is to be preferred, a very common way to attenuate the sound level of any system is to fit a silencer in the ductwork when space is available. Therefore a point is made on typical performances of active and passive silencers with the advantages and disadvantages of the different solutions.

## Principes de sécurité appliqués à la conception des systèmes de confinement et de ventilation de l'installation de recherche ITER

*Pierre Cortes, Loic Lepetit, Roberto Lanza, Neill Taylor, Joëlle Elbez-Uzan  
ITER Organization, Saint Paul Lez Durance, France*

En cours de construction dans le Sud de la France, ITER est une installation de recherche conçue dans le but de démontrer que la fusion est une source d'énergie du futur, l'objectif technique étant de produire plus de dix fois l'énergie consommée. Les expériences sont fondées sur la fusion de deux isotopes de l'hydrogène : le deutérium et le tritium. Le tritium est une substance radioactive et le fonctionnement d'ITER produira une activation neutronique ; ITER est donc une installation nucléaire.

Comme toutes les installations nucléaires, ITER est soumis à des exigences de sécurité strictes, l'objectif étant de protéger les travailleurs, l'environnement et le grand public. Ces exigences sont fondées sur les principes de défense en profondeur : prévention par la réduction à un minimum de la probabilité d'événement anormal et d'accident, détection précoce de tout événement anormal potentiel, limitation des conséquences de toute situation anormale. L'atténuation des conséquences de ces situations potentielles est assurée par la conception de systèmes de confinement robustes adaptés à tout type de substances radioactives, que ce soit en fonctionnement normal ou dans les différents scénarios d'incident ou d'accident.

Les principes de confinement reposent sur la mise en œuvre de plusieurs systèmes de confinement, chacun d'eux comprenant des barrières de confinement « statiques » et des systèmes de ventilation et de détritiation assurant un confinement dynamique. Les systèmes de détritiation sont des systèmes de ventilation assurant le confinement dynamique de tous les locaux où un dégagement de tritium peut se produire, dans les scénarios d'accident étudiés. ITER est l'une des premières installations au monde où un système de détritiation des locaux est mis en œuvre à grande échelle.

La communication présentera les grands principes de conception des systèmes de confinement, en insistant sur les liens entre barrières de confinement, systèmes CVCA et systèmes de détritiation.



## Safety design principles for confinement and ventilation systems of the ITER research facility

ITER is a research facility being built in the south of France. ITER aims at demonstrating that fusion is an energy source of the future with a technical objective of producing more than 10 times the power it consumes. The experiments are based on the fusion of two hydrogen isotopes: deuterium and tritium. As tritium is a radioactive material and as ITER operation will produce neutron activation, ITER is a nuclear facility.

As for all nuclear facilities, ITER follows stringent safety requirements with safety objectives of protection of the workers, the environment and the members of the public. These stringent safety requirements are based on defense in depth principles: prevention by minimizing the likelihood of abnormal and accident events, early detection of any potential abnormal event, and mitigation of the consequences of any abnormal situations. The mitigation of these potential situations is performed by designing robust confinement systems for any type of radioactive materials in normal operations and during postulated incident and accident scenarios.

The confinement principles rely on the implementation of several confinement systems, each of them comprising confinement "static" barriers as well as ventilation and detritiation systems ensuring a dynamic confinement. Detritiation systems are ventilation systems ensuring the dynamic confinement of all the rooms in which tritium is likely to be released during postulated accident scenarios. ITER is one of the first facilities in the world for which a large scale room detritiation system is implemented.

The paper outlines the key design principles of the confinement systems, insisting on the links between confinement barriers, HVAC systems and detritiation systems.

## Efficacité *in situ* des filtres à particules et à gaz des centrales de traitement d'air dans les bâtiments industriels et non industriels

A. Ginestet, D. Pignet, A. Tissot, M. Henninot

CETIAT, Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques, Villeurbanne, France

Les centrales de traitement d'air sont utilisées pour fournir un mélange d'air neuf et recyclé aux bâtiments. Elles utilisent des filtres à particules et à gaz pour la protection des éléments des centrales et pour la fourniture d'air propre aux occupants. Il existe des méthodes normalisées pour la détermination en laboratoire des performances des filtres à particules (EN 779 en Europe et ANSI/ASHRAE 52.2 aux États-Unis) et des filtres à gaz (ANSI/ASHRAE 145.2-2011 aux États-Unis) et le projet de norme internationale ISO/DIS 10121-2. Les résultats des essais permettent de comparer les filtres entre eux mais ils ne permettent pas de prédire les performances des filtres en utilisation réelle (sur site) car les polluants d'essais utilisés en laboratoire ne sont pas représentatifs des polluants réels. La recommandation EUROVENT 4/10 décrit la mesure de la perte de charge et de l'efficacité de filtration sur site des filtres des centrales de traitement d'air (un filtre ou un ensemble de filtres en fonction de la taille des centrales). Il est possible de vérifier que l'efficacité des filtres est celle qui est attendue et que les filtres sont correctement installés sans fuites ni bipsasses. Les résultats des mesures donnent aussi des informations sur la date de remplacement des filtres en fonction de leur perte de charge. La recommandation EUROVENT 4/10 a été utilisée pour le développement du guide ASHRAE 26-2008 et du projet de norme internationale ISO/DIS 29462. Pour les filtres à gaz il n'existe pas de document décrivant la mesure en utilisation réelle (sur site) de leur efficacité. Cet article présente des exemples de résultats de détermination sur site de l'efficacité de filtres à particules et à gaz (une méthode originale est présentée pour ces derniers). Il montre que les méthodes utilisées sont adaptées à l'inspection de la fonction filtration des centrales de traitement d'air.

\* \* \* \* \*

## Efficiency of onsite filtration of particles and gases in air handling unit filters in industrial and non-industrial buildings

Air handling units are used to provide a mixture of fresh and recycled air to buildings. They include filters (HVAC filters) for the removal of particles and gases in order to protect the components of the air handling units and to provide clean air for occupants. Standardised test methods exist for the laboratory performance assessment of particulate filters - EN 779 in Europe and ANSI/ASHRAE 52.2 in USA – and gas phase filters - ANSI/ASHRAE Standard 145.2-2011 in USA and the international draft standard ISO/DIS 10121-2. Test results allow for filters comparison, but they cannot be used to predict filter performance during operation because the laboratory loading pollutants are not representative of real pollutants. EUROVENT 4/10 recommendation describes the measurement of the pressure drop and the filtration efficiency of HVAC filters on site (one filter or a bank of filters depending on the size of the air handling unit). It can then be verified that the efficiency of the filter(s) is as expected, that the filters are correctly installed with no leakage or bypass. Results also give an idea about the filter replacement frequency depending on their pressure drop. EUROVENT recommendation 4/10 was used as a basis for the development of the ASHRAE Guideline 26-2008 and the international draft standard ISO/DIS 29462. For gas phase filters, no document covers the onsite determination of the filtration efficiency. This paper presents examples of results obtained for both particulate and gas phase HVAC filters while in operation (an original method is presented for gas phase filters) and shows that the methods used are suitable for the inspection of the air handling units' filtration function.

## Colmatage de filtres à particules industriels à Très Haute Efficacité (THE) en cas d'incendie : extension d'un modèle empirique de colmatage à des conditions réalistes d'incendie

*F.-X. Ouf, V.-M. Mocho, S. Pontreau, Z. Wang*

*Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Gif-Sur-Yvette, France*

AREVA NC et l'IRSN conduisent des travaux de recherche sur l'impact d'un incendie sur le comportement des équipements de confinement des matières radioactives tels que les filtres industriels plissés à Très Haute Efficacité (THE). L'objectif de la présente étude est d'acquérir des résultats expérimentaux, à échelle intermédiaire mais aussi réelle, de colmatage de filtres THE industriels en cas d'incendie mettant en jeu des matériaux utilisés dans les installations nucléaires. Pour ce faire, un dispositif expérimental a été développé à l'IRSN (Mocho et Ouf, 2011). Cette installation est composée d'un foyer de 1 m<sup>3</sup> où il est possible de brûler différents types de combustibles (liquides et solides). Le foyer est surmonté d'une gaine d'extraction où le débit de ventilation est imposé à l'aide d'un ventilateur et de deux diaphragmes calibrés, associés à deux lignes de ventilation et deux porte-filtres, permettant de couvrir une gamme de débits de ventilation de 50 à 500 m<sup>3</sup>/h (vitesses de filtration respectives : 0,23 et 2,1 cm/s). L'évolution du colmatage du filtre THE est obtenue en mesurant la perte de charge aux bornes de celui-ci et la température de l'air filtré, à la vitesse de filtration considérée. En amont des filtres THE, les aérosols de combustion sont caractérisés (distribution, en tailles, concentration massique, composition et morphologie) respectivement à l'aide d'un spectromètre DMS500 (CambustionLTD), de prélèvements sur filtres à fibre de verre et d'analyses par microscopie électronique en transmission (MET) sur grilles MET. Les résultats obtenus confirment la fiabilité du modèle empirique développé par Mocho et Ouf (2011), pour une gamme plus large de combustibles (polymères, solvants, câbles, éléments électriques), de vitesses de filtration et de conditions d'incendie. Enfin, des expérimentations ont été menées sur une installation de l'IRSN à grande échelle (DIVA) en considérant des scénarii réalistes (armoire électrique, vitesse de filtration constante et variable).

\* \* \* \* \*

## Clogging of industrial high efficiency particulate air (HEPA) filters in the event of fire: from an empirical clogging model to real-life fire conditions

AREVA NC and IRSN are conducting research on the impact of a fire on the behavior of containment devices for radioactive materials such as high efficiency particulate air (HEPA) pleated filters. The aim of the present work is to produce experimental results, on a medium and full scale, on the clogging of industrial HEPA filters in the event of fire involving real materials used in nuclear installations. For this purpose, an experimental test rig has been developed (Mocho and Ouf, 2011). This installation is composed of a 1 m<sup>3</sup> furnace where several types of fuel (liquids and solids) are burnt. It is surmounted by an exhaust duct where the ventilation flow rate is imposed with the help of an extraction device and two calibrated orifice plates, associated with two separate exhaust ducts and HEPA filter-housings, corresponding to a range of air flow from 50 to 500 m<sup>3</sup>/h (filtration velocity from 0.23 to 2.1 cm/s). The clogging history of the HEPA filter is monitored by measuring the pressure drop of filters and the filtered air temperature at a given filtration velocity. Upstream of HEPA filters, combustion aerosols are characterized in terms of size distribution, mass concentration, composition and particle morphology respectively using a DMS500 (CambustionLTD), glass fiber filter samplings and transmission electron microscope (TEM) analysis of particles deposited on TEM grids. Results obtained have confirmed the reliability of the empirical model (Mocho and Ouf, 2011) for a larger range of fuels, filtration velocities and fire conditions. Lastly, experiments have been performed on a large scale installation (DIVA), considering real-scale scenarii (electrical cabinet, constant and variable filtration velocity).

## Étude du colmatage/décolmatage d'un filtre plissé soumis à des particules ultra-fines métalliques

F. Grippari<sup>1,2</sup>, D. Bémer<sup>1</sup>, R. Régnier<sup>1</sup>, Y. Morèle<sup>1</sup>, J.C. Appert-Collin<sup>2</sup>, D. Thomas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

<sup>2</sup>Université de Lorraine, LRGP, Nancy, France

Les particules ultrafines non intentionnelles désignent les particules non manufacturées de taille inférieure à 300 nm, émises par de nombreux procédés industriels. Un banc d'essai a été conçu afin d'étudier les performances des filtres plissés (cartouches) vis-à-vis des aérosols ultrafins formés lors des opérations de travail des métaux et notamment de projection thermique par voie électrique. Les fumées générées par ces procédés sont, en effet, très colmatantes, et les installations de filtrations industrielles connaissent actuellement de gros problèmes pour traiter ces effluents. Le banc d'essai mis au point consiste à récupérer les fumées produites par un procédé de projection thermique de métal (fil de Zn et Zn/Al) à arc électrique et à les diriger sur un petit dépoussiéreur comportant une cartouche à filtre plissé. Le dépoussiéreur dispose d'un système de décolmatage par injection d'air comprimé pulsé. Le banc est équipé de la métrologie classique permettant de déterminer les caractéristiques aérauliques du filtre et de suivre ses performances de filtration dans le temps (efficacité de filtration et perte de charge). Les essais confirment la très grande capacité de colmatage du gâteau de particules formé ainsi que l'absence totale d'efficacité du décolmatage par air comprimé que ce soit en mode de décolmatage Off-line ou On-line. En revanche, la technique du pré-coating se révèle très efficace, du moins en mode de décolmatage Off-line seulement. Étant donné la bonne concordance des essais effectués sur médias plans avec les essais réalisés sur filtre plissé, cette solution sera retenue par la suite pour les tests de décolmatage.

\* \* \* \* \*

## Study of pleated filter clogging/unclogging in relation to ultrafine metal particles

Unintentionally produced ultrafine particles are non-manufactured particles smaller than 300 nm emitted by many industrial processes. A test bench was designed to study the performance of pleated cartridge filters in relation to ultrafine aerosols generated during metal working operations, in particular electrical arc-based thermal spraying. The fumes emitted by these processes are highly clogging and, nowadays, industrial filter systems experience major problems in treating these effluents. The designed test bench involved recovering the fumes produced by an electric arc-based metal thermal spraying process (Zn and Zn/Al wire) and directing them to a small dust collector with a pleated cartridge filter. The dust collector featured a pulse-jet cleaning system. The test bench was equipped with conventional instrumentation for determining the filter airflow characteristics and monitoring its filtration performance over time (filtration efficiency and pressure drop). The tests confirmed the very high clogging capacity of the dust cake formed from the fumes and the complete inefficiency of the pulse-jet cleaning technique in both off-line and on-line cleaning modes. On the other hand, the precoating technique proved to be very efficient, at least in off-line cleaning mode only. The tests conducted on plan media agreed closely with those conducted on pleated filters, therefore this solution will be subsequently retained for the cleaning tests.

## Influence des paramètres HVAC sur le comportement microbien sur des médias fibreux et le relargage microbien

A. Forthomme<sup>1,2</sup>, A. Joubert<sup>1</sup>, Y. Andrès<sup>1</sup>, D. Bémer<sup>2</sup>, X. Simon<sup>2</sup>, P. Duquenne<sup>2</sup>, L. Le Coq<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ecole des Mines de Nantes, Nantes, France

<sup>2</sup>INRS, Vandoeuvre-les-Nancy, France

Afin d'assurer une meilleure qualité de l'air intérieur, de nombreux bâtiments sont équipés de Centrales de Traitement d'Air (CTA) qui contiennent différents étages de filtration. Certains microorganismes captés par les filtres de CTA peuvent les coloniser sous certaines conditions d'humidité, de flux d'air et en présence de nutriments. Le développement microbien, favorisé lors d'un arrêt de CTA, augmente alors le risque de relargage de microorganismes en aval des filtres et particulièrement au redémarrage de la CTA, ce qui peut être associé à de nombreux problèmes de santé pour les occupants. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de trois paramètres sur le comportement microbien sur des médias fibreux de CTA lors d'arrêts de ventilation : la nature du média, le maintien d'un flux d'air après la contamination microbienne des filtres et les conditions d'humidité durant les arrêts de ventilation. Le relargage de microorganismes en aval des filtres est estimé suite au redémarrage simulé de la ventilation du système. Un dispositif expérimental a été développé afin de contaminer des échantillons de filtres par nébulisation d'un consortium microbien (*S. epidermidis* et *P. oxalicum*) à une vitesse de filtration représentative de celle des CTA. Deux médias filtrants (classe F7, EN 779), constitués respectivement de fibres de verre et de fibres synthétiques, sont testés. Afin de simuler des arrêts de ventilation, les filtres sont exposés, après leur contamination, à des conditions de température et d'humidité contrôlées dans une boîte hermétique pendant 48 ou 168h (représentant respectivement un week-end et une semaine de vacances). La température est fixée à 25° C ; la gamme d'humidité relative étudiée s'étend de 60 à 100 %. Auparavant, certains filtres sont maintenus sous flux d'air propre pendant 10h afin d'en déduire l'effet potentiel sur le comportement microbien. Les filtres sont ensuite analysés par comptage UFC afin d'estimer l'évolution des concentrations de microorganismes. Ils sont également placés dans une colonne de filtration afin d'évaluer le relargage microbien, par comptage UFC après collecte sur un filtre HEPA.

\* \* \* \* \*

## Influence of HVAC parameters on the microbial behaviour on fibrous media and microbial release

To ensure better indoor air quality, many buildings are equipped with HVAC systems. One issue is that microbial aerosols, captured by the HVAC filters, can colonize those filters under certain climatic and airflow conditions. A possible consequence is the physical release of viable microorganisms downstream from the filters, particularly after a restart of the ventilation system, which is associated with different health problems of occupants. The aim of the study was to evaluate the influence of three HVAC system parameters on the microbial behaviour on F7 (EN 779) fibrous filters during ventilation shutdown: the type of media, the preservation of airflow after microbial contamination of the filters and the hygrometric conditions during ventilation shutdowns. After microbial growth, the microbial release downstream from the filters was also estimated during a simulated restart of the ventilation system. A test mechanism was developed to contaminate filter samples by nebulisation of a microbial consortium (*S. epidermidis* and *P. oxalicum*) at a filtration velocity representative of an HVAC system. Two filters (glass and synthetic fibres) were tested. To simulate ventilation shutdowns, after being contaminated the filters were exposed to controlled hygrometric conditions in an airtight box for 48 and 168 hours (representing weekend and holiday week). Temperature was fixed at 25°C and the studied RH range was comprised between 60 and 100%. Before the filters were placed under controlled hygrometric conditions, some of them were kept under airflow for 10 hours in order to evaluate the potential influence on the microbial behaviour. Filters were then analyzed by CFU counting in order to estimate the microbial growth, and placed in a filtration column to evaluate the released microorganisms, recovered by a HEPA collection filter for CFU counting.



## Développement et validation d'un dispositif de taille semi-industrielle de vieillissement accéléré des filtres à air équipant les systèmes HVAC

M. Liard<sup>1</sup>, E. Birot<sup>1</sup>, N. Berthelot<sup>1</sup>, H. De Mascureau<sup>2</sup>, X. Chaucherie<sup>1</sup>

<sup>1</sup>VERI, Centre de Recherche de Limay, Limay, France

<sup>2</sup>DALKIA, Quartier Valmy, Paris La Défense, France

Plusieurs dizaines de millions de centrales de traitement de l'air (CTA) sont exploitées dans le monde pour le compte de collectivités ou de clients du secteur tertiaire. Il est possible d'optimiser leurs coûts d'investissement et d'exploitation en préconisant des combinaisons de filtres à air présentant la meilleure équation efficacité de filtration/coûts énergétiques. Pour ce faire, un dispositif innovant de vieillissement accéléré des filtres à air équipant les CTA a été développé. Ce dispositif, de taille semi-industrielle, reproduit fidèlement les conditions réelles d'exploitation des CTA. Ce pilote original présente deux avantages par rapport aux pilotes classiques : 1) il permet de diminuer significativement les temps d'encrassement des filtres, seuls ou en combinaison. De plusieurs semaines en conditions réelles, les filtres sont ici vieillis en quelques heures à partir d'un aérosol solide de granulométrie proche de l'ISO Ultrafine ; 2) il permet de mesurer la consommation énergétique due à l'encrassement des filtres. Les résultats obtenus mettent en avant la reproductibilité de ces tests, à la fois pour ce qui est de la génération d'aérosols (granulométrie et concentration constantes au cours de l'essai) et de l'augmentation de la perte de charge du filtre en test. La corrélation entre l'augmentation de l'efficacité de filtration et l'augmentation de la perte de charge du filtre en test, ainsi que l'obtention de la courbe de filtration en « V » (efficacité de filtration en fonction de la dimension des particules) sont également observées. À l'issue de la validation du dispositif de vieillissement accéléré des filtres, des premières lois de comportement ont été établies pour des filtres seuls (G4, F7) entre la masse de poussière injectée, la perte de charge du filtre et la consommation énergétique liée à l'encrassement du filtre. Ces premiers essais ont donc permis de valider le dispositif développé, qui permettra de tester de manière rapide, efficace et reproductible les performances de filtration et la consommation énergétique de nombreux filtres. Des tests sur des combinaisons de filtres (G4 + F7) seront ainsi réalisés.

\* \* \* \* \*

## Development and validation of a semi-industrial accelerated ageing device for air filters used in heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems

Millions of HVAC systems are operated in the world in the public and tertiary sectors. Investment and operating costs can be optimized by recommending air filter combinations with the best filtration efficiency/energy costs equation. In order to achieve this, an innovative accelerated ageing device applied to air filters used in HVAC units was developed. This semi-industrial device faithfully reproduces the real operating conditions of the HVAC systems. This original filtering pilot presents two advantages: -It makes it possible to significantly decrease the time it takes for filters to become clogged (alone or in combination). Compared to several weeks in real conditions, filters are thus aged in a few hours with a solid aerosol whose size distribution is similar to that of ISO Ultrafine; -It enables energy consumption due to filter ageing to be determined. The results highlight the reproducibility of the tests in terms of aerosol generation (similar particle size distribution and concentration) and in terms of pressure drop increase. The correlation between the increase in the filtration efficiency and the increase in the filter pressure drop, as well as the "V" filtration curve obtained (filtration efficiency vs. particle size) were also observed. After validation of the accelerated ageing filtering device, initial behavior laws were established for single filters (G4, F7) between the mass of injected dust, the pressure drop of the filter and the energy consumption related to the filter ageing. These initial tests led to the validation of the developed device. Numerous tests can be performed in a fast, effective and reproducible way in order to determine the filtration efficiency and associated energy consumption. Tests on filter combinations (G4 + F7) will also be conducted.

## Comparaison entre les données expérimentales et les modèles théoriques disponibles pour l'évaluation du dépôt par thermophorèse

B. Sagot

*Ecole Supérieure des Techniques Aéronautiques et Construction Automobile (ESTACA), Levallois-Perret, France*

L'évaluation de la migration thermophorétique des particules en suspension dans un fluide est importante, d'un point de vue pratique, dans les systèmes de ventilation et de conditionnement de gaz. La conception de tels systèmes fluides chargés en particules nécessite une estimation des taux de dépôt d'aérosol par thermophorèse : dans un calcul CFD de type Eulerien, la détermination du flux de dépôt est basée sur le calcul du champ de température, couplé à l'évaluation du coefficient de diffusion thermophorétique  $K_{th}$ , pour lequel différents modèles théoriques sont disponibles, tels que ceux proposés par Talbot et al. (1980), ou Beresnev et Chernyak (1995). Une étude récente de Sagot et al. (2009) a montré que, bien qu'il soit largement utilisé, le modèle de Talbot fournit toujours des valeurs de  $K_{th}$  supérieures à leurs mesures, dans le régime de transition. Dans la littérature, les déterminations expérimentales de  $K_{th}$  sont généralement basées sur l'une des trois techniques suivantes : mesure de forces, d'efficacité de dépôt ou de vitesse thermophorétique. Ces techniques conduisent à différents types de résultats: dans une balance électrodynamique (Li and Davis, 1995), la force thermophorétique peut être mesurée directement, et un modèle de force de traînée doit être fourni, pour construire une valeur expérimentale de  $K_{th}$ . Lorsqu'on utilise une technique de mesure de vitesse, la détermination de la vitesse thermophorétique est basée sur la déviation des trajectoires de particules au sein d'un gradient de température (Prodi et al., 2002), et ce résultat peut être directement utilisé pour obtenir une valeur de  $K_{th}$ . Du fait de ces différences dans les techniques de mesure, et des résultats correspondants, la confrontation des données disponibles est difficile. L'objectif de ce travail est de proposer une présentation unifiée des données et modèles disponibles actuellement dans la littérature, permettant ainsi de définir le modèle de  $K_{th}$  le plus pertinent.

\* \* \* \* \*

## Comparison between available experimental data and theoretical models for the evaluation of deposition due to thermophoresis

Prediction of thermophoretic migration of particles suspended in a fluid is of practical importance in ventilating and gas cleaning applications. The design of such particle-laden fluid systems requires an estimation of the thermophoretic deposition rate: in an Eulerian CFD simulation, the aerosol deposition flux determination is based on the calculation of the temperature field, together with the evaluation of a thermophoretic diffusion coefficient  $K_{th}$ , for which various theoretical models are available, such as that proposed by Talbot et al. (1980), and Beresnev and Chernyak (1995). A recent study by Sagot et al. (2009) has shown that although widely used, Talbot's model always provides  $K_{th}$  values higher than their measurements, in the transition regime. In the literature, the experimental determinations of  $K_{th}$  are usually based on one of three techniques: measurement of forces, deposition efficiencies, or thermophoretic velocities. These techniques lead to different type of results: in an electrodynamic balance (Li and Davis, 1995), the thermophoretic force can be measured directly, and a drag force model must be provided to build an experimental value of  $K_{th}$ . When using a velocity measurement technique, the determination of the thermophoretic velocity is based on the particle trajectories' deviation within a temperature gradient (Prodi et al., 2002), and this result can be directly used to get a  $K_{th}$  value. Due to these differences in the measurement techniques and corresponding results, the confrontation of available data is difficult. The aim of this work is to propose a unified presentation of currently available data and models from the literature, thus leading to the definition of the most relevant model for the evaluation of  $K_{th}$ .

## Simulations CFD de la dispersion de gaz dans des locaux ventilés

T. Gélain, C. Prévost

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Saclay, France

Afin de mieux évaluer les risques liés à la dispersion de gaz de différentes densités pouvant être relâchés accidentellement dans une installation industrielle, en particulier nucléaire, l'IRSN mène depuis plusieurs années un programme de recherche à la fois expérimental et numérique sur la dispersion de gaz dans des locaux ventilés. Les simulations numériques sont réalisées à l'aide d'un code de calcul CFD commercial (ANSYS CFX). Dans un premier temps, l'objectif du programme a été de valider ce code de calcul sur des essais de traçage gazeux reposant sur l'injection d'hexafluorure de soufre SF<sub>6</sub> (gaz lourd simulant de l'UF<sub>6</sub>) ou d'hélium (gaz léger simulant de l'hydrogène) dans deux locaux ventilés de l'IRSN (30 m<sup>3</sup> et 1500 m<sup>3</sup>), pour diverses configurations de ventilation. Pour chaque essai, les quantités injectées étaient relativement modérées (concentrations locales inférieures à 20 000 ppm), mais néanmoins suffisantes pour mettre en évidence des effets de densité notables (stratification du gaz). Cette première étape a permis, sur la base d'une étude de sensibilité au maillage, au modèle de turbulence et au schéma de discrétisation, de déterminer les paramètres numériques optimaux permettant de simuler, avec le code CFX et son jeu de données associé, les phénomènes de dispersion d'une fuite de gaz lourd ou léger. Nous présenterons ainsi les résultats des simulations des essais menés avec de l'hélium et du SF<sub>6</sub>, ainsi que leur bonne concordance avec les résultats expérimentaux. Cette première étude, particulièrement enrichissante de par les phénomènes mis en évidence, se poursuit par des simulations d'essais de dispersion d'hélium réalisés dans une nouvelle installation expérimentale ventilée de 100 m<sup>3</sup>. Ces essais, qui mettent en jeu des quantités beaucoup plus importantes de gaz, visent à évaluer le risque d'accumulation et donc d'explosion d'hydrogène dans un local, en cas de rupture d'une tuyauterie. Les premiers résultats de calcul de ces essais seront également présentés.

\* \* \* \* \*

## CFD simulations of gas dispersion in ventilated rooms

In order to better understand the risks due to dispersion of gases of various densities that can be released accidentally in an industrial plant, especially a nuclear facility, IRSN has been conducting for several years an experimental and numerical research program on gas dispersion in ventilated rooms. Numerical simulations are performed using a commercial CFD code (ANSYS CFX). Initially, the program objective was to validate the computer code on gas tracing experiments based on the injection of sulphur hexafluoride SF<sub>6</sub> (heavy gas simulating UF<sub>6</sub>) or helium (simulating the light gas H<sub>2</sub>) in two ventilated rooms of the IRSN (30 m<sup>3</sup> to 1500 m<sup>3</sup>), for various ventilation configurations. For each test, the quantities injected were relatively moderate (local concentrations below 20,000 ppm), but nevertheless sufficient to reveal significant effects of density (stratification of the gas). This first step made it possible, on the basis of a study of sensitivity to the mesh, the turbulence model and the discretization scheme, to determine the optimal numerical parameters to simulate, with the CFX code and the associated data set, the phenomena of dispersion of a light or heavy gas leak. The simulation results of tests carried out with helium and SF<sub>6</sub>, and their good agreement with experimental results, are presented. This first study, particularly rewarding because of the phenomena revealed, is being continued with simulations of helium dispersion tests carried out in a new experimental ventilated room of 100 m<sup>3</sup>. These tests, involving much larger quantities of gas, are aimed at assessing the risk of accumulation and thus hydrogen explosion in a room, in the event of rupture of a pipe. The first calculation results of these tests are presented.

## Modélisation des transferts de contaminants particulaires dans des locaux ventilés - application et validation à l'échelle d'un bâtiment réacteur

H. Mohand-kaci<sup>1,2</sup>, L. Ricciardi<sup>1</sup>, S. Jahan<sup>2</sup>, J. Fazileabasse<sup>2</sup>, M. Lestang<sup>3</sup>, L. Bouilloux<sup>1</sup>, C. Prévost<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Saclay, France

<sup>2</sup>EDF R&D, STEP, Chatou, France

<sup>3</sup>EDF DPN UNIE, GPRE, St Denis, France

L'évaluation du transfert de particules pouvant être inhalées par un opérateur dans un local ventilé est une préoccupation majeure dans de nombreuses industries à risque, en particulier dans le domaine nucléaire. La connaissance de la répartition d'un contaminant particulaire est, en effet, essentielle à la gestion des risques et au choix des équipements de protection collective et individuelle. Elle peut également concourir à optimiser l'emplacement et la sensibilité des dispositifs de surveillance. Ainsi, un programme de recherche est mené depuis plusieurs années par EDF R&D et l'IRSN, afin de développer et de valider un modèle multidimensionnel de transfert des aérosols dans des locaux ventilés. Le modèle, implémenté dans le logiciel CFD libre Code\_Saturne d'EDF (Nérisson et al., 2011), repose sur une approche eulérienne simplifiée. Il se présente sous la forme d'une équation de transport de concentration prenant en compte différents effets de déviation et de migration des particules, complétée par un modèle original de conditions aux limites en paroi. Ce modèle de transport et de dépôt a d'abord été validé sur des géométries relativement simples (conduits de prélèvement, etc.), puis sur des enceintes ou locaux ventilés de différents volumes (de 0,1 m<sup>3</sup> à 1500 m<sup>3</sup>). L'étape ultime de ces travaux est la validation du modèle à l'échelle d'un bâtiment réacteur (75 000 m<sup>3</sup>), sur la base de résultats d'essais de traçages gazeux et particulaires menés lors de l'arrêt de tranche d'un réacteur de puissance (REP) de 1300 MW. Les coefficients de transfert estimés par le code en différents points de mesure dans l'ensemble du bâtiment, suite à l'injection de traceurs en différents points source, concordent bien avec les résultats expérimentaux, compte tenu de la complexité de la géométrie (écarts inférieurs à 35 % et 50 % pour les traceurs respectivement gazeux et particulaires). L'ensemble des validations menées démontre la pertinence du modèle développé, qui peut être appliqué à tout type de géométrie (locaux ventilés, chaîne de prélèvement d'aérosols, etc.). Enfin, ce modèle est suffisamment générique pour pouvoir facilement être implémenté dans d'autres codes de calcul CFD.

\* \* \* \* \*

## Modelling of the transfer of particulate contaminants in ventilated rooms – application and validation at a reactor building

Assessing the transfer of particles likely to be inhaled by an operator in a ventilated room is a major concern in many hazard industries, particularly in the nuclear sector. Predicting the distribution of a particulate contaminant is essential for risk management and the choice of collective and personal protection equipment and can also help to optimize the location and setting of monitoring devices. For this purpose, a research program has been conducted for several years by EDF R&D and IRSN to develop and validate a multidimensional model of aerosol transfer in ventilated rooms. The model, implemented in the free EDF code Code\_Saturne (Nérisson et al., 2011), is based on a simplified Eulerian approach. It is composed of a concentration transport equation taking into account various effects of particle deviation and migration, associated with an original model of the wall boundary condition. This transport and deposition model was first validated on relatively simple geometries (sample ducts, etc.) and then on ventilated enclosures or rooms of different volumes (from 0.1 m<sup>3</sup> to 1,500 m<sup>3</sup>). The final step of this work is the validation at a reactor building (75,000 m<sup>3</sup>), based on tracing gas and particulate experiments conducted during the outage of a 1,300 MW pressurized water reactor (PWR). Transfer coefficients estimated by the code at various measurement points throughout the building, following the injection of tracers at different source points, are in good agreement with experimental results, given the complexity of the geometry (deviations below 35% and 50% for gaseous and particulate tracers, respectively). All the validations show the relevance of the model developed, which can be applied to any geometry (building, aerosol sampling line, etc.) and implemented in any open CFD code.

## Homogénéisation des débits dans une batterie de filtres

P. Mathis<sup>1</sup>, D. Müller<sup>1</sup>, P. Ingenbold<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RWTH Aachen University Germany, E.ON Energy Research Center, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, Aachen, Germany

<sup>2</sup>TROX GmbH, Neukirchen-Vluyn, Germany

Les batteries de filtres sont intégrées aux systèmes de distribution d'air pour débarrasser l'air neuf ou l'air extrait des aérosols, poussières, etc. Plusieurs éléments filtrants sont souvent réunis en série et plusieurs de ces empilements de filtres sont disposés en parallèle afin de pour réduire le débit d'air dans les éléments filtrants et, par conséquent, la pression différentielle. Un débit uniforme est exigé dans la distribution d'air, mais rarement obtenu du fait de la géométrie habituelle des conduits, dont la section va en décroissant. Cette étude a porté sur l'homogénéisation des débits grâce à des éléments filtrants disposés en parallèle dans une batterie de filtres. La géométrie de la batterie de filtres est modifiée par l'ajout d'un déflecteur à la sortie de chaque élément filtrant. Chaque déflecteur est orienté spécifiquement de telle sorte que la somme de la pression différentielle de l'écoulement et de la pression différentielle du filtre soit la même pour chaque élément filtrant. L'optimisation de la géométrie est assurée par des méthodes de CFD, en faisant varier les angles des déflecteurs en fonction du différentiel de pression de chaque empilement de filtres. Les calculs sont validés par des données expérimentales. On observe qu'en modifiant légèrement les angles de certains déflecteurs, on obtient une bonne concordance avec les résultats de calcul. Pour résumer, en ajoutant des déflecteurs orientables de façon individuelle, il est possible d'homogénéiser la distribution des débits d'air dans une batterie de filtres et de passer d'un écart de l'ordre de 30 pour cent à un écart d'environ 4 pour cent.

\* \* \* \* \*

## Homogenisation of the flow rates in a filter bank

Filter banks are integrated into air distribution systems in order to house filters for removing aerosols, dust etc. from the supply or extracted air. Often, several filter units are placed in stacks and several stacks are placed alongside to reduce the flow rate through the filter units and by that the pressure differential. A uniform flow rate distribution is required but rarely achieved with conventional duct geometry, comprising of a constantly decreasing cross section area. In this study, the homogenization of flow rates through filter units placed alongside in a filter bank is investigated. The filter bank geometry is altered by adding a baffle at the outlet of each filter unit. Each baffle is individually oriented, so that the sum of flow physics pressure differential and filter pressure differential is the same at each filter unit. The optimization process of the geometry is performed with CFD methods by varying the angles of the baffles according to the simulated pressure differential in each filter stack. The calculations are validated by experimental data. It is found that with slightly different angels at some of the baffles, the calculation results are met. To summarize, by adding individually oriented baffles, the flow distribution in a filter bank is homogenized from a flow rate discrepancy of about 30 percent down to about 4 percent.

## Ventilation des silos tours à fourrage

A. Bahloul<sup>1</sup>, M. Chavez<sup>1</sup>, M. Reggio<sup>2</sup>, B. Roberge<sup>1</sup>, N. Goyer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), Montréal, Canada

<sup>2</sup>École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada

La fermentation d'ensilage dans les silos tours à fourrage produit des gaz à des concentrations assez élevées pour mettre en danger la santé et la sécurité des agriculteurs lors des interventions dans ces silos. Pour maintenir un environnement sécuritaire, ces silos sont ventilés mécaniquement avant et durant les interventions dans le silo. Tout d'abord, des mesures des concentrations de l'oxygène (O<sub>2</sub>), du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) ont été effectuées dans l'espace libre du silo et dans la salle d'alimentation d'une ferme laitière à Québec durant l'été 2008. Cette investigation a démontré que les gaz de fermentation atteignent des concentrations très élevées dans l'espace libre du silo, coulent dans la chute du silo et contaminent l'air de la salle d'alimentation. Une analyse paramétrique de la ventilation par soufflage de l'air dans le silo a été réalisée en utilisant les simulations numériques (CFD). La méthodologie consiste à résoudre les équations de Navier-Stokes et les équations de conservation des concentrations des gaz. Les calculs de simulations numériques ont été validés par des données expérimentales en utilisant un modèle de silo à échelle réduite conçu au laboratoire de l'IRSST. L'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> ont été utilisés comme gaz traceurs pour les essais expérimentaux. Les résultats théoriques (CFD) ont démontré un très bon accord avec les données expérimentales. Une étude paramétrique a conduit à l'établissement d'un modèle mathématique simple pour déterminer le temps de soufflage d'air nécessaire pour atteindre un environnement sécuritaire dans le silo en fonction du débit d'air, du volume du silo et des concentrations de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub>. Le modèle analytique a été ensuite validé par des données de la littérature.

\* \* \* \* \*

## Ventilation in forage tower silos

The fermentation process in forage tower silos produces a significant amount of gases which can easily reach dangerous concentrations and constitute a hazard for silo operators. To maintain a non toxic environment, silo ventilation is applied before and during the interventions in the silo. First, the concentration of oxygen (O<sub>2</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), nitrogen monoxide (NO), and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) was measured in forage tower silos and in the feed room at a dairy farm in the province of Quebec during the summer of 2008. The measurements showed that the fermentation gases reach high concentrations in the head space of the silo and flow down the silo from the chute door to the feed room. Then, a detailed parametric analysis of forced ventilation scenarios built via numerical simulation was performed. The methodology is based on the solution of the Navier-Stokes equations, coupled with transport equations for the gas concentrations. Validation was achieved by comparing the numerical results with experimental data obtained on a silo scale model, using the tracer gas testing method for O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations. The experimental results coincided with the numerical results. The set of numerical simulations made it possible to establish a simple analytical model to predict the minimum time required to ventilate the silo to make it safe to enter. This ventilation time takes into account the headspace above the forage, the air flow rate and the initial concentrations of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>. The final analytical model was validated with available results from the literature

## Niveaux de confinement et taux de renouvellement de l'air dans des écoles et crèches françaises

O. Ramalho, C. Mandin, J. Ribéron, G. Wyart

Université Paris-Est - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Marne-la-Vallée, France

Une campagne pilote a été réalisée de septembre 2009 à juin 2011 dans 310 écoles et crèches réparties dans l'ensemble des régions de France (y compris les départements d'outre-mer). Cette campagne expérimentale a été conduite dans le cadre de la préparation de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur dans certains bâtiments recevant du public. Plusieurs paramètres ont été mesurés dans 900 salles de classe ou d'activités : le benzène, le formaldéhyde et le dioxyde de carbone. Ce dernier a permis la détermination des niveaux de confinement de l'air en présence des enfants ainsi que des taux de renouvellement de l'air nocturnes caractéristiques des débits d'infiltration d'air. Les niveaux de confinement de l'air ont été notés de 0 (confinement nul) à 5 (confinement extrême) selon la fréquence et l'intensité des occurrences de concentration de CO<sub>2</sub>. En outre, un diagnostic simple de chaque bâtiment décrivant le bâtiment, ses équipements, les comportements d'usages et l'environnement extérieur a été réalisé. Les résultats montrent des niveaux de confinement de l'air très variés d'une pièce à l'autre : confinement faible voire nul dans 30 % des salles, moyen ou élevé (48 %) et très élevé voire extrême (21 %). Les crèches sont globalement moins confinées que les écoles, ce qui peut s'expliquer par des conditions de ventilation plus favorables et des densités d'occupation plus faibles. A l'opposé, les écoles élémentaires sont globalement plus confinées que les autres établissements. Les taux de renouvellement d'air nocturnes dans les écoles et crèches ont été calculés à partir des décroissances des niveaux de CO<sub>2</sub> enregistrés dans les salles de classe et d'activité par une méthode de calcul automatisée. Les valeurs obtenues sont faibles, avec une valeur médiane de 0,2 vol/h. Un système de ventilation est présent dans 63 % des crèches mais dans 17 % seulement des écoles maternelles ou élémentaires. Les systèmes de ventilation les plus fréquents sont des systèmes mécaniques en simple ou double flux sans balayage avec bouches d'extraction ou de soufflage directement dans les salles.

\* \* \* \* \*

## Air stuffiness and air exchange rate in French schools and day-care centres

A pilot survey was conducted from September 2009 to June 2010 in 310 schools and day-care centers across all regions of France including overseas departments. This experimental survey was carried out as part of the preparation of the mandatory control of indoor air quality in public buildings. Three parameters were measured in 900 classrooms and child playrooms: benzene, formaldehyde, carbon dioxide. The last measurement served to determine the degree of air stuffiness during child occupancy as well as the nighttime air exchange rate. The level of air stuffiness was represented by a score from 0 (no air stuffiness) to 5 (extreme air stuffiness), which depended on both the frequency and intensity of CO<sub>2</sub> concentration. Moreover, a simple audit of each building was conducted in order to describe their characteristics, the equipment, user behavior and the outdoor environment. Results showed varying levels of air stuffiness from one room to another: low or no air stuffiness in 30% of rooms, medium to high air stuffiness in 48% of rooms, and very high to extreme air stuffiness in 21% of rooms. The air in day-care centers was generally less stuffy than in schools because of more favorable ventilation conditions and lower occupancy density per square meter. On the contrary, the air in primary schools was generally stuffier than that in the other establishments. Air exchange rates were estimated from the decay of CO<sub>2</sub> concentration by an automated method. The observed values were low with a median level of around 0.2 ach. Mechanical ventilation systems were installed in day-care centers 63% of the time, and in both nursery and primary schools 17% of the time. The most frequent system was based on exhaust ventilation or balanced ventilation directly in the rooms.



## Environnement et santé dans les structures d'accueil pour enfants (ENVIRH). Résultats de la phase I – Analyse préliminaire des caractéristiques physiques du bâtiment

S. Azevedo<sup>1</sup>, J. Viegas<sup>1</sup>, D. Aelenei<sup>2</sup>, A. L. Papoila<sup>3</sup>, A. Mendes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

<sup>2</sup>Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica, Portugal

<sup>3</sup>Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências Médicas, Lisboa, Portugal

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge IP, Porto, Portugal

La nécessité de mieux connaître les relations entre les caractéristiques physiques des bâtiments et l'environnement intérieur dans les structures d'accueil pour enfants a conduit une équipe de recherche pluridisciplinaire à concevoir le projet ENVIRH (Environment and Health in children day care centres), financé par la Fondation portugaise pour la science et la technologie (FCT). L'équipe a proposé d'étudier les caractéristiques physiques des bâtiments, l'environnement intérieur et la santé des enfants. Dans ce cadre, 45 institutions sociales privées situées en zone urbaine à Lisbonne et Porto ont été sélectionnées de façon aléatoire et invitées à participer : 25 écoles à Lisbonne (parmi 89 établissements) et 20 à Porto (parmi 55 établissements), soit environ 3000 enfants. L'étude des caractéristiques physiques des bâtiments – type de construction, typologie des fenêtres et modes de ventilation – a été complétée par la mesure des concentrations de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de la température ambiante et de l'humidité relative. Au cours de la campagne de mesure, les concentrations de CO<sub>2</sub> obtenues à l'intérieur des locaux dépassaient 1800 mg/m<sup>3</sup> dans 92 % des écoles de Lisbonne et 90 % des écoles de Porto. Les facteurs influant sur la concentration de CO<sub>2</sub> ont été analysés par une méthode statistique, en utilisant un modèle de régression linéaire multiple. Les résultats suggèrent une relation très significative entre les concentrations de CO<sub>2</sub> et l'ouverture des fenêtres – ( $p < 0,001$ ) ainsi que les caractéristiques de ces dernières - type de joint ( $p = 0,012$ ) et type de battant ( $p < 0,001$ ). Une autre relation significative est apparue entre les concentrations de CO<sub>2</sub> et les modes de ventilation ( $p < 0,001$ ). On présentera les résultats préliminaires de l'étude.

\* \* \* \* \*

## Environment and health in child day-care centres (ENVIRH). Results from Phase I - Preliminary analysis of buildings physical characteristics

The need for studies on the relation between buildings physical characteristics and the indoor environment in children day care centres led an interdisciplinary team of researchers to develop the project ENVIRH (Environment and Health in children day care centres), funded by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT). The project team proposed to study the physical characteristics of the buildings, their indoor environment and children's health. As part of the project, 45 private institutions for social care, located in the urban areas of Lisbon and Oporto, were randomly selected and invited to participate. The schools, attended approximately by 3000 children, correspond to 25 schools located in Lisbon (selected among 89) and 20 located in Oporto (selected among 55). The survey of the buildings physical characteristics, which included the type of construction, typology of the windows and ventilation habits, was complemented by indoor and outdoor direct readings of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentrations, and ambient air temperature and relative humidity. In the survey campaign, the CO<sub>2</sub> concentrations obtained indoors exceed 1800 mg/m<sup>3</sup> in 92% of schools in Lisbon and 90% of schools in Oporto. The factors that influenced the CO<sub>2</sub> concentration were analysed statistically by using a multiple linear regression model and the results suggest a very significant association between CO<sub>2</sub> concentrations and window position - opened or closed ( $p < 0,001$ ) and window characteristics - type of window gaskets ( $p = 0,012$ ) and type of moving leaf ( $p < 0,001$ ), as well as between CO<sub>2</sub> concentrations and ventilation habits ( $p < 0,001$ ). A level of significance  $\alpha = 0.05$  was considered. The purpose of this paper is to present and discuss the preliminary results obtained in this study.

## Environnement et santé dans les structures d'accueil des enfants (ENVIRH). Analyse et simulation de la ventilation dans une structure d'accueil d'enfants

J. Viegas<sup>1</sup>, D. Aelenei<sup>2</sup>, S. Azevedo<sup>1</sup>, H. Cruz<sup>1</sup>, A. P. Santos<sup>1</sup>, A. Pinto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

<sup>2</sup>Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica, Portugal

La nécessité de connaître le lien entre les caractéristiques physiques des bâtiments et l'environnement intérieur des structures d'accueil pour enfants (type crèche) a amené une équipe interdisciplinaire de chercheurs à développer le projet ENVIRH, financé par la Fondation portugaise pour la science et la technologie (FCT). L'équipe a proposé d'étudier les caractéristiques physiques des bâtiments, la qualité de l'air intérieur et la santé des enfants. La modélisation physique de la ventilation dépend beaucoup des caractéristiques du bâtiment ; or l'évaluation précise de ces caractéristiques est une tâche longue et complexe. Dans le cadre de ce projet, une crèche a été sélectionnée, et l'on a mesuré la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment, le débit des systèmes de ventilation mécanique et la température intérieure et extérieure. Les coefficients de pression ont permis d'estimer l'effet du vent sur l'enveloppe ; les données météorologiques ont été recueillies. Ces données ont ensuite été utilisées pour effectuer une étude numérique de la ventilation (par le modèle CONTAM). Les résultats obtenus ont été validés par rapport aux débits de ventilation mesurés par gaz traceur (mesures à court terme : CO<sub>2</sub> et mesures à moyen terme : perfluorocarbone). Après validation, ce modèle a été utilisé pour prédire les taux de ventilation dans une série de conditions météorologiques, l'objectif étant de procéder à une analyse de sensibilité des principaux paramètres qui influent sur la ventilation. Cette évaluation devait permettre de définir les meilleures pratiques afin d'améliorer la ventilation naturelle sans perte de confort à l'intérieur des locaux. Cette communication sera l'occasion de présenter les résultats de l'étude et d'en discuter.

\* \* \* \* \*

## Environment and health in child day-care centres (ENVIRH). Analysis and simulation of ventilation of a child day-care centre

The need for studies on the relation between buildings physical characteristics and the indoor environment in children day care centres led an interdisciplinary team of researchers to develop the project ENVIRH, funded by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT). The project team proposed to study the physical characteristics of the buildings, their indoor air quality and children's health. Physical modelling of ventilation is strongly dependent on the characteristics of the building and the precise evaluation of such characteristics is a complex and a time consuming work. As part of this project, a day-care centre was selected in order to measure the envelope air permeability, the flow rate of mechanical ventilation systems and indoor and outdoor temperature. The effect of the wind on the envelope was estimated through the pressure coefficients and meteorological data was collected. This data was then used to perform a computational study of ventilation (using CONTAM model) the obtained results being validated against direct measurements of ventilation flow rate carried out with tracer gas techniques (short term measurements with CO<sub>2</sub> tracer gas and medium term measurements with PFT method). After validation, this model was used to predict the ventilation rates under a wide range of weather conditions in order to perform a sensitivity analysis of the main parameters that affect ventilation. The purpose of this assessment was to find the best practices to improve natural ventilation avoiding impairing the indoor comfort. The purpose of this paper is to present and discuss the results obtained in this study.

## Évaluation de l'impact de deux immeubles résidentiels à basse consommation et de leurs systèmes de ventilation sur la qualité de l'air intérieur

J. Koffi<sup>1</sup>, F. Allard<sup>1</sup>, X. Boulanger<sup>2</sup>, L. Mouradian<sup>3</sup>, P.-Y. Pamart<sup>4</sup>, A.-M. Bernard<sup>5</sup>, M. Jardinier<sup>6</sup>

<sup>1</sup>LaSIE - Université de La Rochelle, La Rochelle, France

<sup>2</sup>Air.H, Villeurbanne, France

<sup>3</sup>CETIAT, Villeurbanne, France

<sup>4</sup>CSTB, Marne-la-Vallée, France

<sup>5</sup>ALLIE'AIR, Meximieux, France

<sup>6</sup>Aereco S.A, Marne-la-Vallée, France

\* \* \* \* \*

## Assessment of the impact of two residential low-energy buildings and ventilation systems on indoor air quality

Improving the energy performance of buildings and efforts to lower the air leakage may affect the global air renewal and question the ability for ventilation systems to reach their goal of providing an acceptable indoor air quality (IAQ). The changes should be evaluated in terms of IAQ impacts in each type of building. The QUAD-BBC project aims to describe the interactions between buildings, users and systems, by using SIMBAD, a coupled mass and heat transfers toolbox. Part one of the current paper deals with residential buildings for which five ventilation systems are defined and simulated: exhaust ventilation, balanced ventilation, CO<sub>2</sub> and humidity DCV, CO<sub>2</sub> and presence DCV, balanced presence DCV. In addition, scenarios for occupancy and pollutants emissions linked to occupancy, activities, materials and occupants' behaviour, are defined. The study then provides a set of IAQ indexes and a multi-criteria method for comparing ventilation systems. The indexes are calculated in occupancy times and for four groups of pollutants representative of similar behaviour, use or effect. Humidity is also monitored through specific indicators. The results show that currently available systems can provide suitable air quality in low-energy buildings if they are correctly designed, but not always the energy efficiency. For the investigated hypothesis, the existing standards and regulation regarding systems and air change are not considerably affected. Moreover, it appears that the control of ventilation systems, if adapted to the occupancy, provides better IAQ and energy demand in the residential buildings. The results are however highly sensitive to air leakage, pollutant emission, occupancy and user behaviour. Lastly, the comparison of ventilation systems, when displayed as multi-criteria radars, may help designers in their choices.

## Performance énergétique des bâtiments à usage de bureaux

*Michael Schmidt, President de REHVA, Institute for Building Energetics, Stuttgart University, Germany*

L'objectif de tous les pays d'Europe est que les bâtiments à usage de bureaux - et, à terme, l'ensemble des bâtiments – aient une consommation d'énergie basse voire nulle. L'idée qui sous-tend cet objectif a évolué au fil des dernières décennies. S'il s'agissait initialement de ramener à un minimum la demande énergétique pour importer moins de combustibles fossiles, on se préoccupe aujourd'hui des émissions et de leurs effets potentiels sur la température du globe ainsi que des ressources limitées en énergies fossiles.

Cet objectif soulève quelques questions cruciales :

Quelles doivent être les conditions à l'intérieur de ce type de bâtiments ?

De quels systèmes avons-nous besoin pour réaliser ces conditions ?

Ce type de bâtiments est-il techniquement réalisable ?

Ces bâtiments sont-ils économiques par rapport aux bâtiments « traditionnels » ?

Une intervention des pouvoirs publics est-elle nécessaire ?

La question se pose-t-elle seulement pour les constructions neuves ou pour tous les bâtiments existants ?

Avons-nous une « feuille de route » à suivre pour atteindre notre objectif ?



## Energy efficient office buildings

It is the agreed goal in Europe to have office buildings – in the end all buildings – in a low-energy state or even in a zero-energy state. The idea behind that goal has changed in the recent decades. We started with minimizing the energy demand in order to reduce the need for imported fossil fuels. Nowadays we talk about the emissions and their possible influence on the global temperature and about limited resources of fossil fuels.

To reach the mentioned goal, there are some vital questions to be answered:

What interior conditions are appropriate for these building?

What types of systems do we need to achieve those?

Is it technically possible to have such buildings?

Are these buildings economical in comparison with “traditional” buildings?

Do we need any kind of “governmental guidance” to achieve the goal?

Do we talk about new buildings only or about all buildings, i.e. all existing ones, as well?

Do we have a “road map” to get there?

## Evaluation du confort thermique dans un bureau en cas de ventilation par mélange

M. Ruiz de Adana<sup>1</sup>, I. Olmedo<sup>1</sup>, J. C. Esteban<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Physics and Applied Thermodynamics, University of Cordoba, Spain

<sup>2</sup>Centro Tecnológico, Madrid, Spain

L'environnement thermique et la qualité de l'air dans les bâtiments affectent directement la santé, le confort et les performances des occupants. Les systèmes de chauffage, ventilation et conditionnement d'air (HVAC) sont censés créer des conditions de température, vitesse, humidité et qualité de l'air garantissant aux occupants un environnement intérieur confortable et sain. Le principal objectif de cette étude est d'évaluer l'environnement thermique généré par une ventilation par mélange dans un bureau de quatre personnes équipé de quatre ordinateurs. Les tests sont réalisés dans un local expérimental vraie grandeur de l'Université de Cordoue. Quatre mannequins thermiques sont utilisés pour simuler la présence des occupants. Le local est équipé d'anémomètres à boule chaude, de thermocouples, de sondes hygrométriques et d'un dispositif de visualisation par fumigène pour l'analyse des conditions à l'intérieur du local et des modes de diffusion de l'air générés par la stratégie de ventilation. Les tests expérimentaux sont utilisés pour établir le vote moyen prévisible (VMP) et le pourcentage de personnes insatisfaites (PPI), ainsi que les distributions de températures et de vitesses générées par le système de ventilation par mélange. Les résultats mettent en évidence des conditions thermiques acceptables en différents points du local, mais différents niveaux de courants d'air et de températures pouvant affecter le confort thermique des personnes.

\* \* \* \* \*

## Evaluation of the thermal comfort in an occupied office using a mixing ventilation system

The thermal environment and air quality in buildings directly affects occupants' health, comfort and performance. The Heating, Ventilation and Air-Conditioning, HVAC systems, are supposed to create the right conditions of air temperature, velocity, humidity and quality in order to provide a comfortable and healthy indoor environment for people. The main objective of this research is to evaluate the thermal indoor environment generated by a mixing ventilation system in a room. The room consists of an office occupied by four people and equipped with four computers. Experimental tests are carried out in a full-scale test room at the University of Córdoba. Four thermal manikins are used to simulate the people in the room. The test room is provided with hot-sphere anemometers, thermocouples, humidity probes and a smoke visualization device in order to analyze the indoor conditions and the airflow patterns generated by the ventilation strategy. The experimental tests are used to obtain the predicted mean vote (PMV) and the percentage of people dissatisfied (PPD) index as well as the temperature and velocity distributions generated by the mixing ventilation system in the room. The results demonstrate acceptable thermal conditions at several locations in the room and different levels of draft and temperature that may affect the thermal comfort of a person.

## Méthode d'optimisation par logiciel embarqué de la stratégie de commande d'une unité de ventilation de façade

*M. Huber, A. Constantin*

*RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, Aachen, Germany*

Comparées aux systèmes de ventilation centralisée, les unités de ventilation de façade offrent des avantages techniques et économiques, selon leur utilisation, car elles ne requièrent pas de conduits de ventilation, et les locaux où elles sont installées sont généralement découplés les uns des autres. De plus, chaque unité peut être réglée séparément, ce qui permet une souplesse d'adaptation aux particularités du local (orientation, notamment) et aux habitudes de l'utilisateur (souhait d'une température plus élevée, par exemple). L'élaboration d'une stratégie de commande qui satisfasse, en outre, au critère d'efficacité énergétique peut présenter quelques difficultés, car une multitude de scénarios doivent être testés. On présente ici une méthode permettant d'élaborer ce type de stratégie à l'aide d'un logiciel embarqué. L'algorithme de régulation est mis en œuvre au niveau de l'unité de commande d'une unité de ventilation. L'unité de commande est couplée à un modèle de simulation thermique de l'unité de ventilation, qui est lui-même relié à un modèle thermique du local. Au cours d'une simulation, l'unité de commande et le modèle échangent des informations à intervalles fixes : l'unité de commande fixe les paramètres de réglage, et le modèle du local fournit en retour au dispositif de régulation des informations sur les effets de ces réglages (température de l'air résultante, par exemple). Les principaux avantages de cette méthode sont qu'elle permet de tester des scénarios très différents sur une courte période de temps, et d'optimiser activement la stratégie de commande directement au niveau de l'unité de commande. Les difficultés tiennent à la précision des modèles de simulation thermique et à l'obtention d'une bonne synchronisation entre le système de régulation et la simulation. Les modèles sont conçus à l'aide du langage de programmation Modelica. Après une description de la méthode utilisée, on présentera des exemples d'optimisation réalisée en utilisant le principe du logiciel embarqué.

\* \* \* \* \*

## Software-in-the-loop method for optimising the control strategy of a façade ventilation unit

Compared to central ventilation systems façade ventilation units, depending on their use, offer several technical and economic advantages, as they do not require ventilation ducts and the rooms where they are installed are usually decoupled from each other. Furthermore each unit can be individually controlled, allowing flexibility in adapting to the room's particularities, like its orientation, as well as to the user's habits, like the desire for a higher room temperature. Developing a control strategy that in addition satisfies the criterion of energy efficiency can be challenging, as a multitude of scenarios need to be tested. This paper presents a method of developing such control strategies based on the software-in-the-loop concept. The control algorithm is implemented on the control unit of a ventilation unit. The control unit is coupled to a thermal simulation model of the ventilation unit, which is further connected to a thermal model of the room. During a simulation, the control unit and the model exchange information at set time intervals: the control unit decides upon set parameters and the room model gives information about the effects of these settings (e.g. resulting room air temperature) back to the controller. The main advantages of this method are the possibility of testing very different scenarios in a short period of time and of actively optimizing the control strategy directly on the control unit. The challenges of this method lie in the accuracy of the thermal simulation models and the correct synchronization between controller and simulation. The models are built using the programming language Modelica. Along with the description of the used method the paper presents examples of optimization measures achieved by using the software-in-the-loop.

## Applicabilité d'un système de vitrage innovant à des immeubles résidentiels (1re partie). Evaluation en chambre d'essai de l'efficacité d'un système d'isolation dynamique appliqué à l'encadrement des fenêtres

Y. Oura<sup>1</sup>, S. Sawaki<sup>1</sup>, Y. Nomura<sup>1</sup>, K. Mori<sup>1</sup>, S. Lee<sup>2</sup>, S. Kato<sup>3</sup>, D. Kawahara<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Building Technology R&D Group, Sankyo Tateyama Aluminium, Toyama, Japan

<sup>2</sup>Department of Architecture, Tokyo University of Science, Tokyo, Japan

<sup>3</sup>Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo, Japan

<sup>4</sup>Graduate School, University of Tokyo, Tokyo, Japan

Pour isoler efficacement un immeuble résidentiel, des techniques d'isolation dynamique appliquées à l'enveloppe de l'immeuble ont été proposées. Il importe cependant d'isoler plus efficacement le cadre des fenêtres, compte tenu de la déperdition calorifique à ce niveau. Pour améliorer ce point, un nouveau système d'isolation dynamique a été appliqué. Ce système est constitué de trois éléments : le système d'isolation dynamique appliqué aux cadres des fenêtres, un système de ventilation mécanique et un système de récupération de chaleur par une pompe à chaleur. L'objet de cette étude était d'évaluer l'efficacité du système d'isolation dans une chambre d'essai climatique, pour confirmer son applicabilité. On a d'abord évalué l'isolation thermique du cadre par CFD pour déterminer la conception optimale du cadre de fenêtre selon les types de dispositifs isolants : lit de particules, composant moulé en aluminium en structure de peigne, plaque perforée en aluminium, etc. Puis pour vérifier l'efficacité de l'isolation thermique, on a évalué la distribution de températures au niveau du cadre de fenêtre, et un prototype a été conçu en faisant varier le débit d'air neuf dans la chambre d'essai. Les résultats de la simulation ont été comparés avec des données mesurées pour confirmer la validité de la simulation en présence et en l'absence de vitrage. Les résultats de l'expérimentation montrent que l'isolation thermique varie en fonction du débit d'air neuf, et augmente avec le débit d'air neuf. De plus, la validité des résultats de la simulation en présence de vitrage a été confirmée. Il est donc établi que le système de vitrage proposé est très utile pour économiser l'énergie dans les immeubles résidentiels.

\* \* \* \* \*

## The applicability of an innovative glazing system for residential buildings (Part 1) Chamber test evaluation of the thermal insulation efficiency for a dynamic insulation system applied to window frames

To insulate a residential building more efficiently, a dynamic insulation techniques applied to the envelope of buildings have been proposed. However, a window frame should be insulated more efficiently because its heat loss is much more than them. To improve this point, this paper describes a new dynamic insulation system applied to window frame. This system is composed of three parts: the dynamic insulation system applied to window frames, a mechanical ventilation system, and a heat-recovery heat pump system. The purpose of this study is to evaluate the thermal insulation efficiency of the proposed system using environmental test chamber in order to confirm its applicability. First, the thermal insulation efficiency of the window frame was evaluated using computational fluid dynamics to find optimum window frame design according to the various insulation types, such as a packed bed of particles, an aluminum molding compound which is comb structure, a perforated aluminum board and some other details. Then, to verify its thermal insulation efficiency, the temperature distribution of the window frame was evaluated an optimum designed window frame prototype with varying supply air flow rate by using proposed chamber test method. In addition, we compare with simulation results and measured results to confirm simulation accuracy by included window glass or not. The experiment results show the thermal insulation efficiency was varied by supply air flow rate and increased by increasing supply air flow rate. Moreover, the simulation results accuracy by included window glass was confirmed dependable. Therefore, it is confirmed the proposed glazing system is very useful to save energy consumption in residential buildings.



## Evaluation expérimentale des performances de conditionnement d'air d'un système basé sur la récupération d'énergie par dessiccant et la cogénération d'eau chaude

B. Park<sup>1</sup>, S. Lee<sup>2</sup>, S. Kato<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Engineering, University of Tokyo, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Department of Architecture, Tokyo University of Science, Tokyo, Japan

<sup>3</sup>Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo, Japan

\* \* \* \* \*

## Experimental evaluation of the air-conditioning performance for a desiccant-based energy recovery system using cogenerated hot water

Many innovative air-conditioning systems have been proposed and applied to real buildings to control indoor environment with reducing energy consumptions in building sectors. A desiccant-based system represents as well as humidity control air-conditioning system. In this study, a new desiccant-based energy recovery system has developed for process outdoor air which using cogenerated hot water and cool water from cooling tower to reach the saving energy goal in buildings. It is remove the latent loads from the outside air intake and generated in spaces using outdoor ventilation system which consists of two heat exchangers by coating adsorbent material on the fin. Moreover, the proposed system is direct heating/cooling function of the adsorbent material for the process of adsorption and desorption. The purpose of this paper is to verify the technical applicability by measuring the air-conditioning performance of proposed system such as thermodynamic characteristics of zeolite-air working pair and heat exchange efficiency. First, we check the air leakage to confirm the air leakage efficiency of experimental prototype system. Second, to evaluate the air-conditioning performance of proposed system, we measure the air temperature and relative humidity with varying conditions such as water temperature, flow of water, air temperature/humidity conditions that key parameters take effect to the performance of the system. As a result, the air-conditioning performance of proposed system was strongly dependent on water temperature at constant condition of air. It was also found that the optimizing operating cycle two modes. The measured results make efficient use as basic data of the numerical analysis model.

## Enseignements tirés d'événements affectant les systèmes de ventilation, survenus entre 2005 et 2010 dans les installations nucléaires civiles françaises LUDD

*M. Berne, A. Brunisso  
IRSN, Paris, France*

La maîtrise des risques de dissémination de matières radioactives dans les installations nucléaires repose sur la mise en place de systèmes de confinement statique et dynamique ainsi que sur des dispositifs de surveillance du bon fonctionnement de ces systèmes. Le confinement des matières radioactives est assuré par un ou plusieurs systèmes de confinement constitués chacun d'une ou de plusieurs barrières de confinement statique, associés ou non à une cascade de dépressions générée par des systèmes de ventilation, visant à pallier les éventuelles faiblesses ou discontinuités des barrières de confinement statique. La limitation des rejets de matières radioactives dans l'environnement par les systèmes de ventilation est assurée par des systèmes d'épuration adaptés aux substances à traiter. Pour les installations nucléaires de base (INB) autres que les réacteurs en exploitation (LUDD), environ 400 événements significatifs relatifs aux risques de dissémination de matières radioactives ont été déclarés à l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) sur la période 2005 à 2010 dont environ la moitié concerne les systèmes de ventilation. Après une présentation générale des systèmes de ventilation mis en place dans les installations nucléaires LUDD, cette communication présente une catégorisation des principaux types d'événements rencontrés et des principales causes associées, techniques ou relatives aux facteurs organisationnels et humains. Des exemples d'événements marquants seront présentés afin de bien percevoir les principales problématiques rencontrées. Dans la dernière partie, nous essaierons d'identifier les principaux axes d'amélioration qui se dégagent de l'analyse du retour d'expérience.

\* \* \* \* \*

## Lessons learned from events relating to ventilation systems occurring between 2005 and 2010 in the French civil nuclear facilities (LUDD)

The risks of dissemination of radioactive materials in the nuclear facilities are controlled by setting up static and dynamic containment systems and devices to monitor the proper functioning of these systems. Radioactive materials are contained by one or more containment systems. In addition, each containment system has one or more static containment barriers, with or without a negative pressure cascade generated by ventilation systems, in order to compensate for any weaknesses or discontinuities in static containment barriers. The release of radioactive material into the environment through the ventilation systems is prevented by purification systems appropriate to the substances being processed. For the basic nuclear installations (BNI) which are not nuclear power plants or experimental reactors in operation - "LUDD" facilities - about 400 significant incidents related to the dissemination of radioactive materials were reported to the Nuclear Safety Authority (ASN) over the period 2005 to 2010, approximately half of which were related to the ventilation systems. Following a general presentation on the ventilation systems installed at nuclear facilities, this paper will present a classification of the main types of incidents encountered with the main causes associated: technical and related to organizational and human factors. Some examples of outstanding incidents are presented in order to demonstrate the kinds of problems encountered. In the last part, this paper will attempt to identify the main trends of improvements that can be drawn from feedback analysis.

## Soupape Hydraulique INcendie eXtrême, SPHINX®

D. Bois  
CEA Cadarache, France

Dans les installations contenant des matières dangereuses/polluantes, le confinement vis-à-vis du milieu extérieur est assuré par différents moyens : confinement statique (parois des locaux) ; confinement dynamique par des sens d'air de l'extérieur vers l'intérieur des locaux à risque. Lorsqu'un incendie survient dans un local, en fonction du risque, le clapet coupe-feu (CCF) du réseau soufflage se ferme, limitant ainsi l'apport d'oxygène au foyer. La pression du local chute. Le réseau d'extraction est maintenu en fonctionnement le plus longtemps possible jusqu'à l'atteinte des conditions limites de tenue des gaines et accessoires du réseau. Le CCF situé sur le réseau d'extraction se ferme alors et la pression du local croît très fortement (dilatation des gaz). Durant la phase d'extinction du feu, la diminution de la température dans le local engendre une forte dépression (contraction des gaz). Ces phénomènes de pression et de dépression se produisent également dans des locaux et/ou suite à la fermeture simultanée des clapets coupe-feu, avec en outre une accentuation des contraintes dues à l'injection de gaz d'extinction. Le SPHINX® permet de limiter le caractère extrême des conditions thermodynamiques s'exerçant sur les parois et les équipements du local. C'est un réservoir fonctionnant sur le principe d'une soupape (système passif, réversible et réglable). Il garantit l'intégrité du secteur feu en empêchant le transfert de matières dangereuses vers l'environnement ainsi que la propagation du feu vers la zone de confinement et/ou vers le reste de l'installation. Les performances obtenues sont les suivantes : débit pouvant aller jusqu'à 20 000 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, température d'entrée d'air de 1100 °C, température de sortie d'air inférieure à 120 °C, seuil de déclenchement de 1500 Pa. Le SPHINX® est qualifié coupe-feu 2 heures. Le SPHINX® fonctionne, sans appoint d'eau pendant 8 minutes, à une température d'entrée d'air de 1100 °C. Il a une réelle capacité de refroidissement, limitant aussi la pression dans le local à des valeurs compatibles avec la tenue mécanique des organes de sectorisation (portes, clapets, structure). L'épuration est d'environ 90 % équivalent à un filtre HE.

\* \* \* \* \*

## SPHINX® fire control hydraulic valve

In facilities using or producing hazardous/contaminant particles, confinement is ensured by: static confinement (walls of premises); dynamic confinement by air flow circulation from the outside to the inside of a high risk room. In case of fire, the fire damper of the supply circuit is closed to limit the amount of oxygen. The pressure drops in the burning area. The extraction circuit works as long as possible until the upper limits are reached for safeguarding the ducts and network equipment. The fire damper located on the extraction circuit is then closed and the pressure in the premises increases drastically (expanding gas). During the fire quenching phase, the decreasing temperature generates a low pressure (contracting gas). These low and high pressures can also occur when the fire dampers are closed simultaneously. These phenomena are accentuated by the injection of extinguishing gases. SPHINX® limits the extreme thermodynamic conditions exerted on the walls and the equipment in the room. It is composed of a tank operating on a valve principle (passive, reversible and adjustable system). It guarantees area integrity by preventing hazardous particles from being transferred into the environment and fire from spreading to the containment area and/or the rest of the installation. The performance is as follows: flow up to 20,000m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>; air inlet temperature: 1,373K; air outlet temperature: <393K; trigger point: 1,500Pa; fire resistance: 2 hours. SPHINX® works without additional water for 8 minutes, with an air inlet temperature of 1,373K. It has a real cooling capacity, limiting pressure in the room to values compatible with the mechanical resistance of the fireguards (doors, dampers, structures). Retention is close to 90% (similar to an EPA filter).

## Analyse expérimentale du coefficient de décharge aux fins de conception de la ventilation

J.R. Salliou, X. Faure, N. Le Roux

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) Département Climatologie, Aérodynamique, Pollution, Epuration, Nantes, France

Cette étude porte sur le coefficient de décharge utilisé dans le calcul de débit à travers un orifice. Ce coefficient, empirique, a une influence linéaire directe sur le calcul des débits à partir d'un différentiel de pression. De nombreuses recherches expérimentales et numériques ont déjà été menées sur ce coefficient. Elles ont permis de montrer sa dépendance vis-à-vis de paramètres géométriques et de l'écoulement extérieur. Suivant les hypothèses numériques prises ou la méthode expérimentale utilisée, des résultats très disparates ont été observés ; finalement, aucune tendance générale n'a pu être dégagée malgré plusieurs tentatives. L'importance de ce coefficient dans le calcul du débit étant primordiale, l'étude réalisée concerne l'analyse fine, à partir d'un dispositif expérimental disposé dans une soufflerie à jet, des effets des différents paramètres sur le coefficient de décharge. Le dispositif se compose d'un modèle à échelle réduite avec une façade interchangeable ; il est équipé d'une conduite d'extraction avec un ventilateur et un diaphragme pour contrôler le débit à travers l'orifice. La forme de l'orifice, la porosité de la façade, le facteur de forme de l'orifice, l'incidence du vent extérieur ainsi que la vitesse du vent extérieur seront analysés. Pour chaque modification de l'un des paramètres, plusieurs débits sont imposés à travers l'orifice, et la différence de pression est mesurée. Ainsi, pour chaque paramètre, une loi reliant le débit à la pression peut être ajustée à la courbe soit en utilisant une loi puissance avec  $n = 0,5$  (en accord avec les équations de boussinesq), soit en laissant l'exposant de la loi puissance variable pour maximiser le coefficient de corrélation. Certains des résultats obtenus correspondent à ceux de la littérature tandis que d'autres sont différents. En particulier, l'incidence du vent a un effet important entre 45 et 90°.

\* \* \* \* \*

## Experimental analysis of the discharge coefficient for ventilation design

This study focuses on the discharge coefficient used in ventilation. This empirical coefficient has a direct influence on the calculated airflow or on the pressure difference through the orifice. Many studies have focused on this parameter using both experimental and numerical approaches. These have shown that it could vary strongly depending on geometrical or external characteristics. Strong discrepancies were found depending on the experimental bench or on the numerical assumptions used and despite several attempts to merge the results, no general trend could be built since approaches were systematically different. Given that this coefficient is essential for defining ventilated airflow, the correct value should be used for ventilation design. The present study aims to analyze, on an experimental bench positioned in a wind tunnel, the main parameters that influence the discharge coefficient. A reduced-scale model is used and positioned in an open jet wind tunnel section. The experimental bench consists in a reduced-scale model with a movable facade and a long tube equipped with a fan and a standard diaphragm in order to control the airflow through the orifice. Orifice aspect ratio, total surface porosity, orifice shapes, external wind incidence and external wind velocity are analyzed. For each change in parameter, several airflow rates were imposed and the pressure drop was measured. Then, for each parameter, a pressure airflow law could be fitted considering the exponent of the power law equal to 0.5 (in accordance with the boussinesq equation) or variable with keeping a maximum value for the correlation coefficient of the fitted law. Some results are found to be equivalent to those found in the literature and some discrepancies are also found.

## Etude de l'influence du vent sur le confinement des polluants à l'intérieur des locaux industriels

N. Le Roux<sup>1,2,3</sup>, X. Faure<sup>1</sup>, C. Inard<sup>2</sup>, S. Soares<sup>3</sup>, L. Ricciardi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Nantes, France

<sup>2</sup>Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE), La Rochelle, France

<sup>3</sup>Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Saclay, France

Les bâtiments industriels, tels que ceux rencontrés dans l'industrie nucléaire, sont équipés d'un réseau de ventilation dont le rôle principal est de garantir le confinement des polluants au sein de l'installation en situation de fonctionnement normale, dégradée ou accidentelle. Le réseau de ventilation est dimensionné de manière à maintenir les locaux en dépression par rapport à l'environnement extérieur. L'air, pris à l'extérieur, circule ainsi depuis les locaux présentant les risques de contamination les plus faibles vers les locaux à risques de contamination élevés, avant d'être filtré puis rejeté dans l'atmosphère. Le vent induit des champs de pression au niveau des communications extérieures de l'installation qui peuvent modifier les écoulements aérauliques internes, notamment les débits de fuite des locaux. Afin d'étudier les effets combinés du vent et d'une ventilation mécanique, une méthodologie permettant d'établir des expérimentations à échelle réduite pour prédire les écoulements isothermes, en régime permanent ou transitoire, a été développée puis validée numériquement et expérimentalement. L'application de cette méthodologie à deux configurations nucléaires de référence a abouti à la réalisation de campagnes expérimentales, au sein de la soufflerie climatique Jules Verne du CSTB. L'objectif était d'étudier le confinement dans ce type de configurations soumises aux effets du vent. Il a ainsi été montré que les effets du vent, en régime permanent, peuvent entraîner une perte partielle ou totale du confinement des polluants, que le réseau de ventilation soit en fonctionnement ou à l'arrêt. De plus, la turbulence du vent génère des fluctuations importantes des pressions et des débits, pouvant ainsi induire des inversions instantanées des fuites, qui ne sont pas identifiées en régime permanent. A partir de ces résultats expérimentaux, le code à zones SYLVIA, développé par l'IRSN et utilisé notamment pour appuyer les évaluations de sûreté des installations nucléaires, a été validé pour prendre en compte les effets du vent, en régimes permanent et transitoire.

\* \* \* \* \*

## Study of the influence of wind on the containment of pollutants inside industrial buildings

Industrial buildings, as in the nuclear industry, are equipped with ventilation systems, the main role of which is to ensure the pollutant containment inside the facility in normal, damaged or accidental situations. To do this, the ventilation system is designed so as to maintain rooms in lower pressure in relation to the outside. Thus, the air, taken from the outside, flows from the least to the most hazardous room in terms of contamination, before being filtered and released into the atmosphere. Wind creates pressure fields at external communications of the facility, which can modify internal aerodynamic flows, notably leakage flow rates of rooms. In order to study the combined effects of wind and mechanical ventilation, a methodology for carrying out reduced-scale experiments to predict isothermal flows, in steady and transient states, has been developed, and then numerically and experimentally validated. The application of this methodology to two standard nuclear configurations has led to experiments performed in the Jules Verne climatic wind tunnel of the CSTB, in order to study the containment of this kind of configuration subjected to wind effects. It was shown that wind effects, in steady state, can lead to a partial or a total loss of the pollutant containment, with the mechanical ventilation on or off. Moreover, wind turbulence generates significant fluctuations of pressures and flow rates that can bring about instantaneous reversal leakage flow rates, which cannot be identified in steady state. From these experimental results, the zonal code SYLVIA, developed by IRSN and used notably to support safety assessments in nuclear buildings, has been validated for taking into account wind effects, in steady and transient states.

## Caractérisation de l'efficacité de la ventilation d'une pièce grâce à une étude numérique et expérimentale

L. Ricciardi, Z. Mana, S. Soares, F. Laugier

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Saclay, France

L'un des rôles de la ventilation des locaux au sein des installations industrielles, en particulier nucléaires, est de renouveler de manière homogène l'air intérieur, afin de détecter rapidement toute fuite de contamination et d'éviter la présence de zones faiblement ventilées dans lesquelles un contaminant pourrait se trouver en forte concentration. Les critères les plus utilisés pour juger de l'efficacité de la ventilation d'un local, en termes d'homogénéité du renouvellement d'air, reposent sur la notion d'âge moyen local (LMA) de l'air. Cette grandeur peut être déterminée par des techniques expérimentales de traçage gazeux, ou bien à l'aide de simulations numériques réalisées avec des codes de calcul CFD. Trois méthodes de calcul des âges locaux ont été testées à l'aide du logiciel commercial FLOVENT, en confrontant les résultats de simulation à des résultats de traçage à l'hélium obtenus dans la chambre expérimentale CEPIA de l'IRSN (33 m<sup>3</sup>), pour différentes configurations de soufflage et d'extraction. La première méthode est celle proposée automatiquement par FLOVENT à l'issue d'un calcul stationnaire des écoulements d'air. La deuxième consiste à analyser l'évolution au cours du temps de la concentration locale en hélium, suite à l'injection du traceur en entrée du local. Enfin, la dernière repose sur la résolution, en régime stationnaire, de l'équation de transport d'un scalaire représentant l'âge moyen local de l'air. La comparaison des résultats expérimentaux et numériques montre que la première méthode surestime l'hétérogénéité de la répartition des âges locaux, car elle ne tient pas compte de la diffusion turbulente. Les deux autres donnent des résultats quasiment identiques et plus proches de l'expérience. La dernière est toutefois plus simple à mettre en œuvre et permet de calculer les âges locaux en tout point d'un local, et donc d'accéder à leur valeur moyenne et à leur écart-type. Un nouveau critère d'efficacité, défini comme l'âge local « maximal » de l'air normé par le temps de séjour moyen, est proposé. Des simulations réalisées pour différentes configurations de ventilation dans le local CEPIA montrent l'intérêt de ce nouveau critère.

\* \* \* \* \*

## Characterisation of the ventilation efficiency of a room through an experimental and numerical study

One role of room ventilation in industrial plants, and especially nuclear facilities, is to renew uniformly the indoor air in order to detect any leakage of contamination and to avoid the presence of weakly ventilated areas in which a contaminant may be present at high concentration. The criteria commonly used to assess ventilation efficiency, in terms of air change homogeneity, are based on the local mean age (LMA) of the air. The latter can be determined by experimental gas tracing techniques, or by numerical simulations performed using CFD codes. Three methods for calculating LMA were tested with the commercial software FLOVENT, by comparing simulation results with helium tracing experiment results in the IRSN test room CEPIA (33 m<sup>3</sup>), for various air supply and exhaust configurations. The first method is proposed automatically by FLOVENT at the end of a steady state calculation of air flows. The second consists in analyzing the time evolution of local helium concentration, following injection at the room inlet. The last method is based on the resolution, in steady state, of the transport equation of a scalar representing the LMA. Comparison of experimental and numerical results shows that the first method overestimates the heterogeneity of LMA distribution, because turbulent diffusion is not taken into account. The other methods give almost identical results, closer to experimental results. However, the last one is much simpler to implement and allows LMA calculation at any point inside the room, and therefore gives average and standard deviation values. A new criterion of efficiency, defined as the "maximum" LMA normalized by the mean residence time, has thus been proposed. Simulations were performed for different configurations of ventilation in CEPIA, showing the interest of this new criterion.

## Simulation par CFD et mesure de l'environnement intérieur dans une salle polyvalente

S. Lestinen<sup>1</sup>, H. Koskela<sup>2</sup>, H. Nyssölä<sup>1</sup>, T. L. Sundman<sup>1</sup>, T. Laine<sup>1</sup>, T. Siikonen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Olof Granlund Oy, Finland

<sup>2</sup>Finnish Institute of Occupational Health, Finland

<sup>3</sup>Aalto University, Department of Applied Mechanics, Finland

L'environnement intérieur doit être adapté aux personnes, et des normes définissent dans quel cadre doivent se situer les objectifs de conception. Une analyse prévisionnelle est souvent nécessaire, au cours du processus de conception. Elle s'appuie sur les contraintes définies par le client et sur l'usage prévu. L'un des principaux objectifs est de trouver une solution répondant à toutes les exigences fixées, et de prédire l'impact des solutions de conception sur l'environnement intérieur. La mécanique des fluides numérique (Computational fluid dynamics, CFD) est une méthode qui a fait ses preuves pour l'établissement de données prédictives en vue de l'analyse de l'environnement intérieur. Cette étude présente des simulations CFD et des mesures relatives à une grande salle polyvalente destinée à accueillir une série de manifestations allant du hockey sur glace aux concerts. Les mesures et les simulations CFD ont été effectuées durant un match de hockey et lors d'un concert. On a constaté que des données prédictives sur l'environnement intérieur pouvaient être établies par simulation CFD sous certaines conditions. L'exigence essentielle est cependant que les simulations CFD et les conditions aux limites soient correctement définies. La compatibilité était bonne pour le match de hockey sur glace, et assez bonne pour le concert. La différence tenait manifestement aux conditions aux limites et aux incertitudes quant aux charges réelles que constituait le matériel de concert. En outre, la méthode de simulation RANS a été utilisée avec des modèles de viscosité turbulente à deux équations présentant des limites dans la résolution des écoulements et atténuant les fluctuations en environnement instationnaire. Ces méthodes sont néanmoins largement utilisées pour la conception, et des valeurs moyennes peuvent fournir des éléments de comparaison pour valider les tendances et les conditions probables d'écoulement. D'une manière générale, cette étude a permis d'améliorer les connaissances relatives à l'environnement intérieur de la salle polyvalente et a conduit à des ajustements des solutions de conception.

\* \* \* \* \*

## CFD-simulation and measurement of indoor environment in a multipurpose arena

Indoor environment is designed for people and the standards give the framework for the design objectives. Foreseeable analysis is often necessary in the design process, based on the constricts defined by the client and the intended usage. One main objective is to find a design solution that suites all design conditions and predict the impact of that design solutions on the indoor environment. Computational fluid dynamics has proved to be a suitable method to provide foreseeable data for the indoor environment analysis. This study presents CFD-simulations and measurements in a large scale multipurpose arena. The aim of a multipurpose arena is to facilitate a variety of different activities from ice hockey to concerts. The measurements and CFD-simulations were done for the indoor environment during an ice hockey game and a concert event. It was found that the multipurpose arena indoor environment can be predicted by using CFD-simulations in specific conditions. However, the essential requirement is correctly defined CFD-simulations and boundary conditions. The compatibility was good for the ice hockey game and fair to good for the concert event. The difference was obviously due to accuracy of the boundary conditions and uncertainty of actual concert equipment loads. In addition, the RANS-simulation method was used with two-equation eddy viscosity models that have limitations in solving the flow physics and dampens the fluctuations in unsteady environment. However, these methods are widely used in design and averaged values may provide comparable data for validating the trends and probable flow conditions. Generally, this study produced improved knowledge of the multipurpose arena indoor environment and led to adjustments in the design solutions.



## Simulation numérique de nouvelles approches de ventilation des stations et gares souterraines

*O. Adibi, A. Kazemipour, B. Farhanieh, H. Afshin*

*School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran*

Avec le développement rapide des transports souterrains, les questions de qualité de l'air – température, pression, vitesses d'air – et de bruit dans les stations et gares souterraines se posent avec plus d'acuité. L'utilisation de systèmes de ventilation modernes, comportant par exemple une extraction sous le quai ou au-dessus des voies, peut améliorer la qualité de l'air. La plupart des sources de chaleur dans une station de métro sont liées au freinage du train en station, et aux condenseurs de chaleur sur le toit des trains. Selon l'emplacement exact du système de freinage du train et des unités de conditionnement d'air, on peut recourir à l'extraction mécanique sous le quai ou au-dessus des voies, et prévenir l'entrée d'air pollué et de chaleur dans la station, afin d'améliorer la qualité de l'air en station. Ces dernières années, de nombreuses études ont été menées sur la ventilation de secours dans les stations, mais il existe peu d'études sur les systèmes de ventilation en conditions normales de fonctionnement. Yuan et You (2007), par exemple, ont établi moyennant quelques simplifications les distributions de vitesse et de température moyennes dans une station. Kim et Kim (2007, 2009) ont réalisé sur un modèle à l'échelle 1/20 une étude expérimentale et une analyse numérique instationnaire du flux d'air induit par un train dans un tunnel. Jia et al. (2009) ont simulé le flux d'air à l'intérieur de tunnels et de stations de métro à double sens de circulation. Le but de cette étude était une simulation tridimensionnelle des flux d'air dans les stations souterraines où sont utilisés des systèmes de ventilation modernes, avec extraction sous le quai ou au-dessus des voies. Les données relatives aux distributions de températures et de vitesses d'air en station seront analysées, et les performances de chaque méthode seront discutées.

\* \* \* \* \*

## Numerical simulation of new ventilation approaches for underground stations

With the rapid development of underground transportation, people care more about issues related to air quality, including temperature, pressure, air velocity and noise in underground stations. Use of modern ventilation systems in underground stations, such as an under platform exhaust (UPE) or over track exhaust (OTE) system, can improve underground air quality. Most sources of heat in subway stations are due to train braking at the stations, and heat condensers in the roof of trains. Depending on the exact location of a train braking system and air-conditioning units, this can be achieved by mechanical extract via an UPE or an OTE system and prevent entering polluted air and heat from a heat source to the station, and thus will improve stations air quality. During recent years many studies have been conducted about emergency ventilation in stations, but few studies about the ventilation system at normal operating conditions in the metro stations has been done. For example, Yuan and You (2007) with some simplifications obtained distribution of average velocity and temperature in the station. Kim and Kim (2007, 2009) conducted an experimental study of the train-induced unsteady tunnel flow on a 1/20 scale model tunnel, they also conducted a numerical analysis of the train-induced unsteady airflow inside their experimental model tunnel. Jia et al. (2009) simulated airflow inside two-way tunnels and subway stations. The aim of this research is three-dimensional simulation of airflows in the underground stations with using modern methods of ventilation such as UPE and OTE systems. After analyzing the results of temperature and air velocity distribution at the station, the performance of each method are discussed.

## Simulation des conditions environnementales dans une installation de culture hors-sol, par combinaison de la CFD et d'un modèle de verrière

*M. Katoh, Y. Takemasa, T. Gondo, H. Takasuna, T. Kudo*  
*Kajima Technical Research Institute, Tokyo, Japan*

Le nombre d'installations de culture hors-sol couvertes a augmenté. Pour optimiser la production, il est nécessaire de limiter au maximum la dispersion des conditions environnementales à l'intérieur de l'installation et de combiner au mieux les facteurs tels que la température, l'éclairage, la ventilation, l'humidité et la concentration de CO<sub>2</sub> auxquels sont exposées les plantes. Cet article présente un modèle de simulation qui permet de prédire précisément les caractéristiques de l'environnement intérieur (distributions de températures et de flux d'air dans une installation de culture hors-sol fermée). La simulation numérique (CFD) et le modèle de verrière sont combinés afin de prédire l'environnement dans la serre en tenant compte des interactions entre l'air intérieur et la toiture. Le modèle de verrière est composé de cinq sous-modèles. Le modèle calculant la résistance de l'air permet d'étudier l'effet de la toiture sur la circulation de l'air. Le modèle thermique sert à calculer la température du feuillage par un bilan thermique. Le modèle de calcul de l'évolution de la chaleur due à l'éclairage permet de répartir sur le feuillage les rayons de courte longueur d'onde générés par la source d'éclairage. Les modèles de transpiration et de photosynthèse servent à évaluer respectivement le taux de transpiration et le taux d'assimilation du CO<sub>2</sub>. Les distributions de températures et de flux d'air ont été calculées par le modèle de simulation ; les résultats de la simulation ont été comparés aux valeurs mesurées dans une installation de culture hors-sol couverte de 30 m<sup>2</sup>. Dans cette installation, des fraises transgéniques ont été mises en culture sur quatre doubles rangées d'étagères. Lors de la simulation, on a exploité les valeurs mesurées en ce qui concerne l'apport d'air neuf, la chaleur générée par les lampes et la quantité de feuillage, par exemple. Le coefficient de résistance du feuillage était mesuré au cours de l'étude. Au vu des résultats, les distributions de température et de flux d'air calculées correspondent bien aux valeurs mesurées.

\* \* \* \* \*

## Plant factory environment simulation that combines a plant canopy model with CFD

The number of closed plant factories has increased. In order to maximize production of the plants, it is necessary to minimize the indoor environment distribution in the cultivation room and provide optimal combination of environmental factors such as temperature, radiation, airflow, humidity and CO<sub>2</sub> concentration for the plants. This paper deals with a simulation model that predicts detailed indoor environment such as air temperature and airflow distributions in a closed plant factory. Computational fluid dynamics (CFD) and the plant canopy model are combined to predict detailed indoor environment by taking into account interactions between indoor environment and plant canopy. The plant canopy model is composed of five sub-models. The air resistance model is used to consider the effect of plant canopy on airflow. The thermal model calculates leaf temperature by solving heat balance equation. The heat distribution model for lighting allocates short-wave radiation generated from lighting on the leaves of the plant. The transpiration model and the photosynthesis model are used to evaluate transpiration rate and the rate of CO<sub>2</sub> assimilation. Air temperature and airflow distributions were calculated by the simulation model, and calculated results were compared with measured results in a real closed plant factory. In a 30m<sup>2</sup> closed cultivation room, 4 sets of 2-stage shelves were used to grow transgenic strawberry. In the simulation, measured values such as supply air conditions, heat generated by the lamps, the amount of leaves were used. The resistant coefficient of leaves was measured by the experiment. The results demonstrate that the calculated air temperature and airflow distributions agree well with the measured results.

## Modélisation du transport de polluants dans les espaces clos – approche par modèle espace d'états

S. Parker

Defence Science and Technology Laboratory, Salisbury, United Kingdom

Si la mécanique des fluides numérique permet une simulation numérique souple des espaces complexes, la modélisation multizone est un outil pratique pour l'étude du transport des polluants dans des bâtiments compartimentés et autres espaces clos. Les présents travaux utilisent quant à eux un modèle espace d'états au lieu de la méthode multizone classique, afin de calculer le transport de polluants en conditions d'écoulement établi. Une solution analytique est exprimée pour l'évolution de la concentration, ce qui permet d'éviter l'intégration numérique normalement requise dans les approches classiques. Il est possible d'obtenir un résultat similaire en ce qui concerne l'exposition des occupants. Il faut noter que ce modèle espace d'états donne une idée du comportement aéraulique global du bâtiment. Après avoir présenté le modèle espace d'états, nous donnons des exemples d'applications. L'exemple d'un bâtiment est retenu et le modèle espace d'états est employé pour examiner l'évolution de la concentration d'un polluant. Les résultats sont comparés à ceux obtenus grâce aux logiciels multizones classiques. Le taux de décroissance à la fin de la phase de décroissance est comparé au taux de renouvellement d'air nominal pour toute une série de bâtiments, et l'on constate une forte corrélation entre les deux. La corrélation entre ces mesures dépend manifestement du type de ventilation employé dans le bâtiment. En régime permanent, les concentrations résultant d'émissions continues en de multiples points d'un bâtiment sont également étudiées par simple calcul matriciel et visualisation. Les expositions des occupants des bâtiments pour différentes localisations de la source sont également évaluées à différents moments. Le modèle espace d'états s'avère très prometteur pour évaluer rapidement l'impact de la ventilation sur le transport de polluants dans les espaces clos.

\* \* \* \* \*

## Modelling the transport of contaminants in enclosed spaces - a state-space approach

Whilst computational fluid dynamics provides a flexible numerical simulation approach for complex spaces, multizone modelling is a practical tool for the study of contaminant transport within compartmented buildings and other enclosed spaces. This work considers a state-space method as an alternative to the standard multizone approach for the calculation of contaminant transport under constant flow conditions. An analytical solution is expressed for the concentration dynamics providing an opportunity to avoid the numerical integration normally required by standard approaches. A similar result can be derived for occupant exposure. Importantly, this state-space approach provides insight into the ventilation behaviour of the building as a whole. Following the introduction of the state-space method, a number of example applications are presented. An example building is considered and the state-space approach used to examine the concentration dynamics. The results are compared with those produced by standard multizone software. The decay rate in the late decay phase is compared with the nominal air change rate for a wider range of buildings and is seen to show strong correlation with this measure. The relationship between these measures is shown to depend on the nature of the building ventilation. Steady state concentrations resulting from continuous releases at multiple locations within a building are also addressed using a simple matrix calculation and visualisation. Building occupant exposures for a variety of source locations with variable timings are also assessed. The state-space approach shows considerable promise for rapidly assessing the impact of ventilation on contaminant transport in enclosed spaces. © Crown copyright 2012.

## Mesure de débit d'air sur site

Isabelle Caré, CETIAT, France

Les réglementations des différents pays européens imposent que toutes les constructions neuves présentent une consommation d'énergie de plus en plus faible. Dans ces conditions, la maîtrise des débits d'air de ventilation dans les bâtiments devient déterminante. Un retour d'expérience montre que la mesure d'un débit de ventilation peut conduire à surestimer celui-ci de 20 à 50 % en cas de mauvaise mise en œuvre des méthodes de mesure, entraînant ainsi des risques de mauvaise qualité de l'air intérieur. Inversement, une mesure qui sous-estimerait le débit d'air inciterait à régler ce dernier à une valeur trop élevée et engendrerait une surconsommation énergétique inutile. C'est pourquoi la mesure des débits d'air sur site est un paramètre critique pour la réception des installations de ventilation.

La méthodologie à mettre en place pour réaliser ces mesures est très différente selon que l'on cherche à réaliser une mesure de débit d'air pour une bouche de petite dimension, ou pour un grand diffuseur d'air de type tertiaire ou industriel (qui peut présenter des géométries très variables). Les méthodes relatives aux mesures de débit en conduit sont basées sur des mesures de profils de vitesse. Les méthodes proposées peuvent varier en fonction du nombre de points de mesure et de leur position afin d'optimiser le rapport temps passé/exactitude.

Les pratiques ne sont pas harmonisées et il n'est pas rare de devoir faire face à des désaccords client/fournisseur lors de la réception des installations de ventilation.

L'objectif de ce workshop est de faire le point sur les méthodes de mesure sur site du débit d'air de ventilation, ainsi que les erreurs attendues en fonction des conditions d'installation et de mesure. Des retours d'expérience concrets mettant en évidence les problématiques rencontrées sur site seront exposés.



## On-site measurements of ventilation air flow rates

Regulations in the different European countries require that all new buildings have an increasingly lower level of energy consumption. Under these conditions, the control of ventilation air flow in buildings becomes critical. Feedback shows that the measurement of a ventilation rate can be overestimated by 20 to 50% if the measurement methods are poorly implemented, leading to a risk of poor indoor air quality. On the other hand, a measurement that underestimates the airflow would lead to an excessive flow rate value being set and would generate an unnecessary energy consumption. Therefore the on-site airflow measurement is a critical parameter for the commissioning and monitoring of ventilation installations.

The methodology to be implemented to achieve these measurements is very different depending on the type of terminal device (small or large) and the flow rate itself in the case of the measurement of flow rate at the outlet of air terminal diffusers. The methods used to measure air flow in closed ducts are based on velocity traverse measurements. The proposed methods may differ by the number of measurement points and their position to optimise the measurement time/accuracy ratio.

Practices are not harmonised and this can lead to disputes between customers and suppliers when ventilation systems are commissioned.

The objective of this workshop is to review methods of on-site air flow measurement as well as the expected errors due to the installation and measuring conditions. Real situations highlighting the problems encountered on site will be described.



**Mercredi 19 septembre**  
**Wednesday, 19 September**

## Présence de nanoparticules dans les systèmes de ventilation

*Gerhard Kasper, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, Karlsruhe Institute of Technology, Germany*

Cette présentation traite des facteurs qui influent sur la présence de nanoparticules dans l'air des systèmes de ventilation et les espaces alimentés par ces systèmes. L'analyse repose sur des scénarios types d'infiltration ou d'émission de particules dans l'air ; elle porte sur l'action des systèmes de filtration ainsi que sur l'application des concepts de dynamique des aérosols pour le dépôt sur des parois ou l'adhérence par collision à d'autres particules tout au long de leur cycle de vie. L'analyse a permis de conclure notamment que le recours à des systèmes de ventilation forcée équipés de filtres d'efficacité modérée peut contribuer à la persistance des nanoparticules isolées du fait d'une dilution rapide dans l'air ventilé mais également, et de manière plus probable, à l'adhérence de ces nanoparticules à des aérosols de l'environnement de taille plus importante (phénomène dont la cinétique est plus rapide), et donc à la persistance de nanoparticules de taille comprise entre 0,1 et 1  $\mu\text{m}$ , soit la taille des particules les plus pénétrantes des filtres.



## Nanoparticle-related issues in ventilated environments

The presentation reviews factors of relevance to the presence of nanoparticles in the air of ventilation systems and the spaces supplied by such systems. The analysis is based on reasonably typical scenarios for infiltration or emission of particles into the air, the action of filtration systems, as well as the application of aerosol-dynamic concepts for the wall deposition or collisional attachment to other aerosol particles during their lifetime. One conclusion is that the operation of forced ventilation systems with filters of modest efficiency may actually contribute to the persistence of unattached nanoparticles via rapid dilution in the ventilation air, but even more likely to their attachment to larger background aerosols (which is a faster kinetic), and thus to their persistence in the size range of about 0.1 to 1  $\mu\text{m}$ , i.e. the most-penetrating particle size of filters.

## Capteurs innovants pour le contrôle en ligne des systèmes de ventilation dans les procédés de combustion

*Howard Goodfellow, Tenova Goodfellow Inc., University of Toronto, Canada*



### **Innovative sensors for on-line control of ventilation systems for combustion processes**

This paper will outline recent developments in innovative sensors for on-line control of ventilation systems. Specific applications of innovative sensors for process optimization for industrial combustion processes (e.g. steelmaking, cement, coal-fired boilers) will be discussed. Researchers in the ventilation have faced a difficult challenge to achieve a reliable real time mass and energy balance which can be used for on-line process control. The three off-gas parameters that must be measured for the process to perform an on-line mass and energy balance are gas temperatures, gas velocities and gas composition.

For many industrial applications, the process environment is extremely harsh with high gas temperatures (greater than 1500°C), high loadings of particulates (abrasive, sticky, molten), wide range of gas velocities with uneven gas velocity distribution across the duct) and a wide range of gases with large variations in concentrations. In addition, most of these parameters are transient in nature and hence, the need for real-time process control.

This paper will outline R&D activities in the area of sensor development that is currently underway as part of a collaborative R&D activity between the University of Toronto and Tenova Goodfellow Inc., Mississauga, ON. Based on the development of innovative sensors, examples will be presented of the successful integration of these sensors with data acquisition and process models for optimization of combustion processes. Optimization based on real time mass and energy balances results in significant reduction of energy consumption and greenhouse gas emissions. Operating data will be presented from actual field installations in the steelmaking industry.



## Etude par PIV de la qualité de la ventilation dans certaines zones occupées d'un modèle de pièce 2D, en présence de débits d'air variables rapidement

A. Sattari, M. Sandberg

University of Gävle, Dept. of Building, Energy and Environmental Eng., Gävle, Sweden

Le mode de distribution d'air le plus courant est celui de la ventilation par mélange, résultant d'un apport d'air permanent via un système de ventilation mécanique. Ce type de ventilation peut créer des problèmes de courants d'air ou de stagnation de l'air dans certaines zones occupées, ce qui a des répercussions sur l'efficacité de la ventilation. Compte tenu de ces inconvénients, il importe de développer de nouveaux systèmes de distribution d'air. L'étude présentée ici s'inscrit dans le cadre d'une série de projets pour l'amélioration de la qualité de la ventilation par l'introduction de variations de débits. De précédentes études (Sandberg & Elvsen, 2004; Wigö & Knez, 2005; Sattari et. al., 2011) ont montré que des variations rapides du débit d'air permettent de réduire la stagnation et d'augmenter l'efficacité de la ventilation. On abordera cette technique innovante de distribution d'air par l'analyse des champs de vecteurs vitesse établis par PIV (Particle Image Velocimetry) sur certaines zones mortes d'un modèle réduit de pièce bidimensionnelle. Les dimensions du modèle sont de 30\*20\*1.0 cm et le fluide utilisé est de l'eauensemencée en particules de traceur, et circulant en circuit fermé. Un dispositif mécanique permettant de faire varier le débit produit des pulsations dans le débit introduit. Le cas de référence, sans pulsation, correspond à un écoulement stationnaire ; avec l'introduction de variations de débit de soufflage, l'écoulement devient instationnaire avec production de tourbillons, ce qui améliore le mélange. Ce phénomène est étudié au niveau de certaines zones mortes, pour le cas de référence et pour le cas avec variations rapides du débit à fréquence fixe. Une comparaison entre les deux cas sera menée à partir des schémas d'écoulement observés, en faisant appel aux profils de vitesse, aux lignes de courant et à l'analyse statistique des champs de vecteurs obtenus (intensité de la turbulence, etc.).

\* \* \* \* \*

## PIV Study of ventilation quality in certain occupied regions of a 2D room model with rapidly varying flow rates

The most common approach in air distribution is mixing ventilation created by supply of constant airflow rate with a mechanical ventilation system. This type of ventilation may cause several problems such as draught, stagnation at certain occupied locations, and subsequently low ventilation efficiencies. These drawbacks call for the need to develop new air distribution systems. The reported study is part of a series of projects with the aim of exploring different types of variations of the indoor climate with a focus on increasing the ventilation quality by introducing flow variations. Previous studies (Sandberg & Elvsen, 2004; Wigö & Knez, 2005; Sattari et. al., 2011) have shown that rapidly varying air flow rate has the potential to reduce stagnation and increase ventilation efficiency. This paper will investigate this novel air distribution technique through analysis of velocity vector fields from the Particle Image Velocimetry (PIV) experiments on certain stagnant regions of a small-scale, two-dimensional room model. The room model has a dimension of 30\*20\*1.0 cm and the operating fluid is seeded water which is circulated in a closed system. A mechanical squeezer enables flow pulsations. The reference case without pulsation shows a steady flow condition, but with the introduction of flow variation, the flow becomes unsteady with the rolling-up of vortices, which enhances the mixing. This phenomenon is investigated on certain stagnant regions for both cases of supplying the room model with a constant flow rate and with a rapidly varying flow rate at a fixed frequency. A comparison between the two cases will be conducted by the aid of specification of flow pattern using velocity profiles, stream lines, and statistical vector analyses such as turbulence intensity, etc.

## Etude expérimentale sur la détermination de la vitesse d'air selon le système de mesure utilisé

C. Kandzia<sup>1</sup>, H. Maula<sup>2</sup>, A. Inderfurth<sup>1</sup>, D. Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen, Germany

<sup>2</sup>Finnish Institute of Occupational Health, Indoor Environment Laboratory, Turku, Finland

Le confort thermique et l'efficacité de la ventilation sont des objectifs importants lors de la conception des systèmes de ventilation. Ces deux objectifs dépendent de la distribution des températures et des vitesses d'air dans le local. Différents systèmes de mesure des vitesses d'air sont employés : temps de vol, anémomètre à ultrasons, technique à effet Doppler et anémomètre laser-Doppler (LDA) permettent de mesurer la direction du vecteur vitesse. Un capteur omnidirectionnel mesure la vitesse de l'air. Le principe de mesure repose sur le transfert d'énergie thermique d'une sphère chaude à l'environnement. L'anémométrie laser Doppler est une technique de mesure sans contact qui n'a aucune incidence sur l'écoulement d'air. Les anémomètres omnidirectionnels et à ultrasons doivent être positionnés dans le flux d'air. Ils influent donc sur la structure de l'écoulement d'air dans le local. Dans le cas de l'anémomètre laser Doppler, ce sont les limites de la distance focale et la nécessité de disposer d'un accès optique qui présentent des difficultés pour les mesures à l'intérieur des installations d'essai. Il faut donc trouver un compromis entre la précision du système de mesure et la complexité de la tâche. Une comparaison des différents systèmes de mesure dans les mêmes conditions aux limites permet d'estimer les erreurs de mesure. On utilise un diffuseur à fente d'un mètre de long associé à un dispositif de contrôle du débit volumique et à un ventilateur réglable pour comparer les résultats de mesure de la vitesse par les trois méthodes citées. Le diffuseur à fente assure une distribution uniforme de la vitesse sur toute sa longueur. Les analyses sont réalisées pour la LDA et deux capteurs omnidirectionnels différents d'une part, et pour la LDA et l'anémomètre à ultrasons d'autre part.

\* \* \* \* \*

## Experimental study of the determination of air velocity in relation to the measurement system used

Thermal comfort and the ventilation effectiveness are important aims in the construction of modern air supply systems. Both targets depend on the distribution of local air temperatures and velocities in a room. Different measurement systems are deployed to obtain the velocity data. The time of flight, ultrasonic anemometer, and the Doppler Effect technique, Laser Doppler Anemometer (LDA), enables the measuring of the direction of the velocity. The omnidirectional sensor measures the air speed. The measurement principle is based on the heat transfer of thermal energy from hot sphere to surrounding. The Laser Doppler Anemometer measures contactless without any influence on the airflow. The omnidirectional and the ultrasonic anemometer have to be positioned into the flow. Hence, there is an influence on the room airflow structure. On the other side, limited focal length and the necessary optical access raise the difficulties by using the Laser Doppler Anemometer for measuring inside test facilities. Hence, it is necessary to find a compromise between the accuracy of the measurement system and the complexity of the task. A comparison of the different measurement systems at the same boundary conditions gives an overview about the mistake which is made. Therefore, a one meter long slot diffuser combined with a volume flow controller and an adjustable fan is used to compare the velocity results of the three different measurement systems. The slot diffuser shows an equal velocity distribution over the whole length. The analyses are done for the LDA and two different omnidirectional sensors on the one side and the LDA and the ultrasonic anemometer on the other side.

## Système de ventilation à la demande à faible consommation d'énergie utilisant des capteurs de gaz à semi-conducteurs en oxyde métallique micro-usiné

S. Herberger, H. Ulmer

AppliedSensor GmbH, Reutlingen, Germany

Les bâtiments doivent fonctionner dans des conditions de charge thermiques et de contraintes environnementales extrêmement diverses, et contribuent pour une large part à la consommation d'énergie et aux émissions de carbone dans le monde. Des capteurs intelligents utilisés pour la commande des dispositifs de sécurité et de conditionnement d'air constituent des éléments clés pour réaliser des économies d'énergie tout en assurant un confort optimal. Une ventilation efficace sur le plan énergétique constitue aujourd'hui un objectif majeur en matière de performance des bâtiments, selon les exigences fixées par la Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB). Le pilotage à la demande de la ventilation au moyen de capteurs de la qualité de l'air permettant de faire varier les débits d'air en fonction du niveau de pollution réel permet d'assurer une qualité de l'air répondant aux exigences de santé et de confort tout en réduisant à un minimum la consommation globale d'énergie. AppliedSensor a développé un module de contrôle de la qualité de l'air intérieur utilisant un capteur de gaz à semi-conducteurs en oxyde métallique, qui permet le pilotage à la demande de la ventilation. Ce module est optimisé pour la détection des composés organiques volatils provenant des bio-effluents humains, effluents de cuisine, fumées, produits de nettoyage, ainsi que pour la détection de gaz toxiques comme le monoxyde de carbone. Une série d'essais et de tests de validation dans divers types d'environnement intérieur a permis de développer un algorithme de commande spécifique pour la ventilation à la demande. Un algorithme empirique mis en œuvre au niveau du capteur, fondé sur la règle du métabolisme inversé, permet de prédire la concentration de dioxyde de carbone en fonction des concentrations de composés organiques volatils détectées. Par rapport aux systèmes de ventilation commandés par une horloge, cette technique permet d'économiser jusqu'à 70 % d'énergie pour la ventilation, et jusqu'à 15 % d'énergie pour le chauffage. L'utilisation de ce module à capteurs conçu pour la ventilation à la demande a permis d'assurer une bonne qualité de l'air dans un immeuble de bureaux.

\* \* \* \* \*

## Energy-efficient ventilation on demand using micro-machined metal oxide semiconductor gas sensor technology

Buildings have to operate over a wide range of environmental and load conditions and contribute to a large part of the world's energy consumption and carbon emission. Smart sensors for safety, comfort and control appliances are considered as the keys to energy-efficiency and a high standard of living. Especially energy efficient ventilation has become a major task for building performance according to the requirements set by the European Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Applying demand controlled ventilation in buildings, using sensors for indoor air quality control that offer variable airflow rates adapted to the actual pollution load, provides healthy and comfortable air quality while minimizing the overall energy consumption. AppliedSensor developed a metal oxide semiconductor gas sensor based indoor air quality module specialized for demand controlled ventilation. The sensor module is optimized for the detection of volatile organic compounds originating from human bio-effluents, cooking odors, smoke, fumes and cleaning supplies as well as for the detection of harmful gases such as carbon monoxide. Extensive testing and validation in various indoor spaces led to the development of a specific control algorithm for demand controlled ventilation. An empirical algorithm implemented in the sensor module reverses the proportionality of human carbon dioxide production rate and other bio-effluent generation and therefore allows carbon dioxide prediction based on the detected volatile organic compound level. Compared to time-scheduled ventilation, up to 70% less power consumption for the fan, up to 15% less heating energy demand and a good air quality have been achieved for an office building using the developed sensor module for demand controlled ventilation.

## Impact des soubassements sur la contamination de l'air intérieur par des polluants gazeux du sol

T. M.O. Diallo<sup>1,2</sup>, B. Collignan<sup>1</sup>, F. Allard<sup>2</sup>, J. Koffi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CSTB Health Division, Marne-la-Vallée, France

<sup>2</sup>University of La Rochelle, La Rochelle, France

L'objectif de cet article est d'analyser l'impact de différentes typologies de soubassement sur le transfert des polluants gazeux du sol vers l'environnement intérieur des bâtiments. Un modèle de ventilation thermo-aéraulique a été utilisé pour cette étude. Ce modèle tient compte des principaux phénomènes : conditions météorologiques (tirage thermique, vent) et systèmes de ventilation. Dans un article récent, des modèles analytiques ont été développés afin d'estimer les débits d'entrée de polluants gazeux du sol dans les bâtiments. Ces modèles tiennent compte du principal phénomène de transport à proximité des bâtiments, qui est la convection. Ils sont présentés comme des lois analytiques débit-pression. Ils ont été intégrés dans le modèle de ventilation, ce qui permet de calculer l'évolution temporelle de la concentration des polluants gazeux du sol dans l'air intérieur en fonction des caractéristiques physiques du sol, des différentes typologies de soubassements et des conditions météorologiques. Pour un même bâtiment, l'impact des différentes typologies a été examiné. Les résultats indiquent que la concentration de l'air intérieur dépend fortement de la typologie du bâtiment.

\* \* \* \* \*

## Contamination of indoor air by soil gas pollutants: the impact of building substructures

The aim of this paper is to analyze the impact of building substructures on soil gas pollutants' transfer (VOC, radon, etc.) into buildings. A thermo-aeraulic ventilation model has been used for this study. This model includes the main phenomena: meteorological conditions (stack effect, wind) and ventilation systems. In a recent paper, analytical models of soil gas entry into buildings with different building substructures were developed. These analytical models take into account the main phenomenon for soil gas pollutant transfer which is convection near the building foundation and are presented as flow-pressure laws. These analytical models are integrated into the ventilation model. This integration makes it possible to obtain the temporal evolution of soil gas pollutants in indoor air depending on the soil and building characteristics and meteorological conditions. For the same building, the impact of different building substructures has been examined. Results indicate that indoor air concentration depends strongly on the type of building substructure.

## Ventilation optimale : trouver l'équilibre entre l'exposition aux polluants intérieurs et extérieurs

O. Hänninen<sup>1</sup>, A. Asikainen<sup>1</sup>, F. Allard<sup>2</sup>, W. Bischof<sup>3</sup>, P. Carrer<sup>4</sup>, O. Seppänen<sup>5</sup>, V. Leal<sup>6</sup>, S. Kephelopoulos<sup>7</sup>, P. Wargocki<sup>8</sup>

<sup>1</sup>National Institute for Health and Welfare (THL), Finland

<sup>2</sup>University of La Rochelle, France

<sup>3</sup>Jena University Hospital, Germany

<sup>4</sup>University of Milan, Italy

<sup>5</sup>REHVA, Brussels

<sup>6</sup>University of Porto, Portugal

<sup>7</sup>EC Joint Research Centre, Ispra, Italy

<sup>8</sup>Technical University of Denmark

Le projet HealthVent, financé par la DG Santé des consommateurs, comporte actuellement l'élaboration de lignes directrices européennes relatives à la ventilation. Le précédent modèle, relatif à la charge de morbidité liée à la qualité de l'air intérieur, élaboré puis affiné dans le cadre des projets EnVIE et IAIAQ, est étendu à l'évaluation de la sensibilité de la pollution de l'air intérieur à la ventilation, afin de combiner les données sur les taux de ventilation existants, fondées sur des estimations par populations, et d'évaluer séparément la charge de morbidité liée aux polluants provenant de sources intérieures et extérieures. Le modèle prend en compte des polluants sélectionnés en raison de leur incidence sur la santé, d'après les évaluations de l'OMS et d'autres sources internationales. Les résultats montrent que si l'on inclut dans l'évaluation la dilution de polluants relevant principalement du domaine de la prévention à la source, tels que la fumée de tabac (tabagisme secondaire), le monoxyde de carbone, l'humidité ou les moisissures, la préconisation de 0,1 à 0,8 renouvellement par heure suffira à procurer un bénéfice sanitaire en diluant les polluants générés à l'intérieur des locaux. Cependant, la forte charge de morbidité liée notamment aux particules atmosphériques (PM 2,5) et à leur introduction accrue dans les espaces intérieurs contrebalancera partiellement les bénéfices pour la santé, et un nombre supérieur à 0,8 RAH aura des effets négatifs sur la santé. Ces effets risquent d'interférer avec les études épidémiologiques et de conduire à une classification erronée des expositions et à sous-estimer les relations exposition-réponse. La possibilité sera envisagée, dans les lignes directrices, d'accroître les bénéfices pour la santé par des restrictions en matière de pénétration de particules extérieures dans l'air intérieur.

\* \* \* \* \*

## Optimal ventilation: balancing exposures to indoor and outdoor pollutants

DG Sanco funded HealthVent project is currently developing ventilation guidelines for Europe. As part of this work the previous indoor air quality burden of disease model, developed in EnVIE and refined in IAIAQ projects, is extended to evaluate the sensitivity of indoor air pollution to ventilation, to combine information on population based estimates of existing ventilation rates, and separately assess the burden of disease caused by pollutants originating from indoor and outdoor sources. The model accounts for pollutants that have been selected based on their health relevance as evaluated by WHO and other international studies. The results indicate that if additional dilution of pollutants belonging primarily to the source control domain, like second hand tobacco smoke (SHS), carbon monoxide, dampness and mould are included in the assessment, setting ventilation guidelines in range 0.1 - 0.8 changes per hour will provide a health benefit by diluting the indoor generated pollutants. However, the substantial burden of disease caused by especially ambient particles (PM2.5) and their improved entry into indoor spaces at enhanced ventilation rates will partly counterbalance the health benefits, and above 0.8 ach will lead to negative health impacts. These counterbalancing effects are likely to interfere epidemiological studies and lead to exposure misclassification and bias towards zero errors in the estimates of exposure-response relationships. The guidelines will consider also the possibility to add to the health benefits by restricting penetration of outdoor particles indoors.

## Modélisation de la coagulation des nanoparticules et de leur transport en conduite

R. Guichard<sup>1,2,3</sup>, A. Tanière<sup>2,3</sup>, E. Belut<sup>1</sup>, N. Rimbert<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

<sup>2</sup>Université de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

<sup>3</sup>CNRS, LEMTA, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

L'intérêt croissant porté aux nanoparticules par l'industrie entraîne des inquiétudes du point de vue de l'hygiène industrielle, notamment si l'on considère le cas d'un aérosol nano-structuré émis par un procédé et présentant un risque sanitaire par inhalation. Il est établi qu'entre la source de nanoparticules et leur dépôt ou inhalation, le phénomène de coagulation contribue à faire évoluer rapidement la granulométrie de l'aérosol. Dans ce contexte, la modélisation de la coagulation constituerait donc un outil précieux pour l'évaluation et la caractérisation des expositions professionnelles. Un modèle sans écoulement, basé sur l'approche du bilan de population avec prise en compte de la dimension fractale des agrégats, a déjà été validé sur des résultats expérimentaux en enceinte homogène fermée. Ici nous décrivons l'intégration de ce bilan de population dans les équations de transport d'un code de mécanique des fluides numérique afin d'obtenir l'évolution spatio-temporelle d'un aérosol de nanoparticules. Le principe consiste à ajouter un terme source pour la coagulation dans les équations de convection-diffusion des moments de la distribution granulométrique. Pour l'évaluer, nous proposons dans un premier temps de suivre le transport des propriétés globales de l'aérosol en conduite pour un écoulement uniforme à vitesse constante. Cette configuration d'écoulement à une dimension permet d'obtenir des solutions analytiques utiles pour valider l'implémentation du modèle. Les prochaines étapes dans la modélisation de la dynamique d'un nuage de nanoparticules consisteront à étendre les simulations à des cas tridimensionnels qui pourront être appliqués à des situations réelles.

\* \* \* \* \*

## Modeling of nanoparticle coagulation and transport in a pipe flow

Industrial interest in nanoparticles raises concerns about their significant presence in workplaces. Their increasing use brings certain consequences in terms of occupational hygiene, in particular for a potentially hazardous nano-structured aerosol. It is well known that the coagulation phenomenon contributes to a quick change of the particle size distribution when particles deposit or are inhaled. In this framework, a coagulation model is needed in order to evaluate and characterize occupational exposures. As a first step, a population balance approach is chosen taking the fractal dimension of aggregates into account. This method has already been validated for experimental results in a homogeneous closed chamber in a steady fluid. In order to model the spatiotemporal evolution of a nano-aerosol, we propose coupling the population balance equation (PBE) with computational fluid dynamics (CFD) code considering a uniform pipe flow. A source term describing coagulation is added in convection-diffusion equations. This method will be evaluated by considering the transport and coagulation of the aerosol in the pipe. The performance of this method will be assessed by comparison with both analytical solutions and experimental results. The following steps will consist in extending simulations to more realistic three-dimensional cases.

## Comparaison de la rétrodiffusion nanoparticulaire et gazeuse dans une enceinte ventilée

V. Césard<sup>1</sup>, E. Belut<sup>1</sup>, C. Prévost<sup>2</sup>, N. Rimbert<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INRS, Nancy, France

<sup>2</sup>IRSN, Saclay, France

<sup>3</sup>LEMETA, Nancy, France

Les activités faisant usage de nanoparticules se sont fortement développées dans les laboratoires, et ce malgré des connaissances toxicologiques parcellaires. Généralement, les opérateurs en contact avec des nanoparticules utilisent des techniques de protection individuelle et collective standards non testées pour des polluants standards. L'objectif de la recherche présentée ici est d'évaluer l'efficacité du confinement offert par des enceintes ventilées lorsque des nanoparticules sont émises à l'intérieur de ces enceintes. Certains des effets agissant sur des particules de plus grande taille s'estompent à l'échelle nanométrique (pesanteur, inertie) au bénéfice d'autres forces qui deviennent prépondérantes et influent sur le comportement de l'aérosol nanostructuré (diffusion brownienne, agglomération). En théorie, les nanoparticules ont un comportement proche de celui d'un gaz passif dans un écoulement d'air, si l'on excepte certains phénomènes tels que le dépôt en proche paroi et l'agglomération pour des concentrations élevées. Malgré tout, il est nécessaire de confronter les efficacités de confinement obtenues pour des nanoparticules et pour un gaz, afin de mettre en évidence une possible spécificité des nanoparticules. Un banc d'essais a donc été développé à l'INRS, en collaboration avec l'IRSN. Le dispositif testé, un poste de sécurité microbiologique (PSM), est placé dans une salle propre de classe ISO4, de façon à ce que la concentration résiduelle soit maintenue la plus basse possible ; on peut ainsi envisager une détection spécifique des fuites liées à l'émission de nanoparticules depuis l'enceinte du PSM. L'aérosol test est produit par un nébuliseur, générant un aérosol de nanoparticules de NaCl. Les résultats présentés dans cette communication permettent de quantifier les efficacités de confinement en gaz et en nanoparticules obtenues dans trois configurations principales : l'utilisation du PSM sans perturbations extérieures, en présence d'un opérateur immobile, simulé par un mannequin fixe, ou d'un opérateur en déplacement devant le PSM, simulé par une plaque mobile se déplaçant cycliquement à une vitesse de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  devant l'enceinte.

\* \* \* \* \*

## Comparison of gas and nanoparticle backdiffusion in a ventilated cabinet

The production and use of manufactured nanoparticles have become routine activities in laboratories, despite incomplete toxicological knowledge. Operators in contact with nanoparticles use personal and collective protection techniques identical to those encountered in any laboratory (respirators, gloves, standard filtration and ventilation techniques), even if they are not designed for nanosized pollutants. At the nanoscale, forces acting on larger particles become negligible (gravity, inertia), while other forces become predominant and affect the behavior of the nanoaerosol (Brownian diffusion, agglomeration). The objective of the present work is to evaluate the containment efficiency provided by ventilated enclosures (fume hoods, microbiological safety cabinets) when nanoparticles are emitted inside them. A test-rig has been developed at the INRS site for that purpose in collaboration with IRSN. The tested device is a microbiological safety cabinet (MSC). It is placed in an ISO 4 clean room (ISO 14644-1) so that the residual concentration is kept as low as possible in order to achieve a better detection of nanoparticles leaking from the MSC. The calibrated test aerosol is generated by a nebulizer, emitting nanosized NaCl particles. The results presented in this paper enable the efficiencies of containment for gas and nanoparticles obtained in three main configurations to be quantified: the use of the MSC without external disturbance, with the presence of an operator here replaced by a model, or with movement of people in front of the MSC, simulated by a plate moving cyclically at a speed of  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



## Filtration des nanoparticules de l'air fourni à l'habitacle des véhicules

A. Mayer

TTM, Niederrohrdorf, Switzerland

Alors que les concentrations atmosphériques de PM10 sont déterminées principalement par la pollution particulaire de fond, la concentration de particules submicroniques dépend pour une large part de sources locales ; elle peut être très élevée à proximité d'axes routiers à fort trafic et, surtout, sur ces axes. Les personnes empruntant souvent ces axes sont donc exposées à de fortes concentrations de nanoparticules, supérieures de plusieurs ordres de grandeur aux concentrations mesurées dans des régions distantes des sources de pollution. Des études menées à Los Angeles montrent une concentration 15 fois plus élevée à l'intérieur des véhicules qu'en bordure de route. On établit aujourd'hui un lien entre ces nanoparticules et une série de maladies telles que des cardiopathies, affections pulmonaires et affections du système immunitaire, et ces particules sont considérées comme un problème sanitaire sérieux. Les filtres intégrés aux systèmes de ventilation actuels des véhicules retiennent les particules de grande taille comme les pollens, mais sont généralement inefficaces contre les très petites particules, de taille inférieure à 1 µm. Alors qu'il existe des filtres efficaces, les constructeurs automobiles ne les utilisent pas car ils provoquent une contre-pression élevée, imposant une forte puissance de soufflage. Nous avons tenté de surmonter ce problème en ne filtrant qu'une partie de l'air entrant. On présentera un système de filtres permettant de réduire considérablement la concentration de particules ultrafines dans l'habitacle des véhicules. Le système de ventilation d'origine est réglé en mode recyclage et tout l'air entrant dans l'habitacle est fourni par un système de filtres spécialement adapté. Des tests sur divers véhicules (des véhicules de tourisme aux autocars) montrent que ce système de filtres peu coûteux est extrêmement efficace et peut être adapté à tout véhicule commercial existant et même aux véhicules de tourisme.

\* \* \* \* \*

## Nanoparticle filtration for vehicle cabins

Whereas ambient PM10 concentrations are mainly determined by background particle pollution, the concentration of submicron particles strongly depends on local sources, and may be very high beside busy roads and, in particular, on such roads. This means that people traveling frequently on such roads are exposed to high concentrations of nanoparticles. The exposure may be orders of magnitude higher than at remote areas. Studies in Los Angeles show a 15 times increased concentration inside cars compared to the roadside. Such nanoparticles are now linked to a number of diseases, including heart attacks, cancer, lung diseases and immune system diseases, and are thus considered a serious health problem. Filters incorporated in present automotive ventilation systems remove large particles, for example pollen, but usually are inefficient for removing very small particles below 1 µm. Though efficient filters are available to car manufacturers in principle, these are not currently implemented because they cause a higher back pressure, requiring stronger blowers. In our approach we have tried to overcome this problem by filtering only partial intake flows. A filter system is presented which allows the reduction of the concentration of ultrafine particles in vehicle cabins to very low levels. The original ventilation system is switched to the recirculation mode and all cabin intake air is supplied via a retrofitted filter system. Tests with a variety of different vehicles (from passenger cars to coaches) show the high efficiency of the system and the possibility to retrofit this low cost filter design in any existing in-use commercial vehicle and even in passenger cars.

## Incinération de nanoparticules à l'échelle du laboratoire - 1. Dispositif expérimental et premiers résultats

*S. Derrough, D. Locatelli, P. Nobile, E. Zimmermann, C. Durand  
CEA-Grenoble, NanoSafety Platform, Nano Expertise Center, Grenoble, France*

Dans un contexte global de suivi et de réduction des émissions de particules atmosphériques, la nécessité de limiter la libération de nanoparticules (NP) lors de l'incinération de matériaux nanostructurés est une problématique à prendre en considération sans tarder. Le traitement de ce type de déchets va rapidement devenir un sujet majeur étant donné la croissance exponentielle de la production et de l'utilisation de NP manufacturées. Pour l'instant, peu d'indications sont disponibles sur les procédés de fin de vie à privilégier pour de tels résidus qui sont aujourd'hui en majorité incorporés dans des cycles d'incinération (à des températures de 850 °C à 1100 °C) déjà en place. Concernant le devenir des NP pendant le processus d'incinération, très peu d'informations sont disponibles dans la littérature pour permettre d'établir quelle fraction ressort dans le mâchefer et quelle part est libérée dans l'atmosphère. Mesurer, et surtout comprendre, le devenir des NP quand elles sont soumises à certains cycles de fin de vie, et notamment à des procédés haute température, est l'un des thèmes de la Plate-Forme Nanosécurité (PNS) du CEA Grenoble. La première étape de cette étude a été de développer un banc d'essai à partir d'un four de laboratoire relié à des techniques analytiques de quantification et de qualification des NP. Certains paramètres critiques tels que le mode d'introduction de l'échantillon dans le four, les ajustements des débits de gaz ou le point de prélèvement des fumées ont été optimisés pour assurer une bonne sensibilité et aboutir à une méthodologie reproductible de détection des NP libérées au cours du processus d'incinération. Les résultats préliminaires montrent que l'émission de NP, à partir d'un échantillon initialement nanostructuré, est significative et mesurable par notre banc analytique. Les premières corrélations établies entre le profil d'émission de NP avec le temps et la température, les distributions granulométriques et les observations microscopiques (MEB) associées montrent que l'incinération de déchets nanoparticulaires est un phénomène complexe qui nécessitera la mise en place de solutions spécifiques.

\* \* \* \* \*

## Incineration of nanoparticles at laboratory scale - 1. Set up and initial results

In a global context of reduction and monitoring of atmospheric particle emissions, limiting the release of nanoparticles (NPs) when they are incinerated is a non negligible element. This subject is growing while the implementation of end-of-life solutions under control are put in place, as a necessary continuation of the increase in the production and use of engineered NPs. Nowadays, waste containing nanomaterials is mostly treated by elevated temperature (from 850°C to 1100°C) like classical waste in incineration plants. There is not enough information about the behavior of NPs during waste incineration to establish which fraction stays in the slag and which percentage becomes airborne and is released outside the plant. Measuring and especially understanding the release of NPs submitted to high temperature processes is one of the topics of the NanoSafety Platform at CEA Grenoble. The first step of this fundamental study has been to develop a specific bench test including a laboratory furnace connected at its exhaust to NPs' analysis tools. Critical parameters such as the mode of introduction of the sample in the furnace, the gas flow adjustments, the sampling point, etc., have been optimized to ensure good sensitivity and to lead to a reproducible methodology of detection of NPs released during the incineration process. Preliminary results show that release of NPs from an initial nanostructured sample is significant and measurable with our devices. Correlations between NPs emission profile with temperature, size distribution during release and SEM observation were established and support the fact that incineration of NPs is a complex phenomenon that will need dedicated solutions.

## **Le véritable niveau de confinement des HFL, PSM, PSC lors de la manipulation de produits chimiques sous forme de poudre : tests de confinement**

*L. Hervé  
Sanofi, Vitry, France*

Le but de cette étude était de connaître le véritable niveau de confinement des HFL, PSM, PSC lorsqu'on les utilise pour manipuler des poudres toxiques, très toxiques voire nanométriques et/ou actives à de très faibles doses comme dans notre industrie. A ce jour, peu de tests quantitatifs ont été réalisés. Dans notre étude, nous avons comparé sur les mêmes équipements de nombreuses méthodes de prélèvement (SF6, comptage particulaire, nanoparticules, poudre traceur...). Tous ces tests réalisés depuis de nombreuses années montrent de très bons niveaux de confinement... à quelques règles fondamentales près.

\* \* \* \* \*

## **The real level of containment of LFHs, BSCs and CSCs during the handling of chemical powders: containment tests**

The purpose of this study was to determine the real level of containment of laminar flow hoods (LFHs), biological safety cabinets (BSCs) and cytotoxic safety cabinets (CSCs) when used to handle powders that are toxic, very toxic or even nanometric and/or active at very low doses as in our industry. To date, few quantitative tests have been performed. In our study we compared many different methods of sampling (SF6, particle counting, nanoparticles, leak detection powder, etc.) on the same equipment. For many years, all of these tests have shown very good levels of containment... but for a few fundamental rules.

## Caractéristiques d'écoulement et de confinement d'une sorbonne à rideau d'air

R. F. Huang, J.-K. Chen, C. M. Hsu

National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan

Les caractéristiques aérodynamiques et les performances de confinement d'une sorbonne à rideau d'air ont été diagnostiquées par une technique de visualisation par nappe laser d'un fumigène, et par une méthode fondée sur la mesure de concentration d'un gaz traceur. Les tests ont été effectués dans trois situations : environnement statique, actionnement de l'interface mobile, et fonctionnement avec plaque mobile en mouvement devant l'ouverture frontale (test de robustesse). Les résultats de la visualisation des écoulements ont montré qu'en conditions statiques et lors de l'actionnement de l'interface mobile, le rideau d'air protégeant l'ouverture faisait efficacement obstacle à des échanges sensibles de masse et de quantité de mouvement entre l'intérieur et l'extérieur de la sorbonne. Lors des essais avec plaque mobile, le rideau d'air oscillait légèrement puis retrouvait sa configuration normale. Le protocole de l'EN 14175, comportant l'utilisation de SF<sub>6</sub> comme gaz traceur pour établir les niveaux de fuite de contaminants, a été appliqué. Les résultats d'essais rigoureux de confinement, statiques et dynamiques, ont démontré les performances extrêmement satisfaisantes de la sorbonne. Le niveau de fuite du gaz traceur, lors des tests en conditions statiques et d'actionnement de l'interface mobile, était proche de zéro (< 0,001 ppm) lorsque les vitesses de soufflage et d'extraction étaient réglées correctement. Les effets du mouvement de la plaque mobile sur les fuites de confinement montraient que la sorbonne à rideau d'air assurait un confinement extrêmement élevé par rapport à une sorbonne classique correspondante pour une vitesse frontale de 0,5 m/s. Les fuites de confinement de la sorbonne à rideau d'air en conditions dynamiques ont pu être ramenées à un niveau négligeable. Le débit d'air total requis pour la sorbonne à rideau d'air était de l'ordre de 20 à 40 % inférieur au débit d'extraction des sorbonnes de type classique.

\* \* \* \* \*

## Flow and containment characteristics of an air-curtain fume hood

The aerodynamic characteristics and containment performance of an air-curtain fume hood were diagnosed by using the laser-light-sheet-assisted smoke flow visualization technique and tracer-gas concentration test method, respectively. The test situations included static environment, shah moment, and plate sweeping across the shah opening (i.e., robustness test). The flow visualization results showed that under the static and sash movement test situations, the air curtain set up across the sash opening allows no sensible momentum and mass exchanges between the flowfields of the cabinet and the outside environment. Under the plate-sweeping situation, the air curtain oscillated a little then retrieved to the normal pattern. The EN-14175 protocol which used the SF<sub>6</sub> as the tracer gas (SF<sub>6</sub>) to examine the contaminant leakage levels was performed. Results of rigorous static and dynamic examinations of leakage showed extra-ordinarily satisfactory hood performance. The leakage level of tracer gas of the static and sash movement tests approached almost null (< 0.001 ppm) if the jet and suction velocities were properly adjusted. The effects of the plate-sweeping on the containment leakage showed that the air-curtain hood provided drastically high containment performance when compared with the corresponding conventional fume hood operated at the face velocity of 0.5 m/s. The containment leakage of the air-curtain hood during dynamic motions could be reduced to an ignorable level. The total air flow required for the air-curtain hood was about 20%~40% less than that exhausted by the conventional fume hood.

## Caractéristiques aérauliques des enceintes de petite taille pour le contrôle des matériaux contenant de l'amiante lors des opérations de retrait

D. Pocock<sup>1</sup>, C.J. Saunders<sup>1</sup>, S. Bennett<sup>1</sup>, M. Gibson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Health and Safety Laboratory, Buxton, United Kingdom

<sup>2</sup>Health and Safety Executive, Edinburgh, United Kingdom

Au Royaume-Uni, de nombreux bâtiments contiennent de l'amiante. Lors du désamiantage, il existe un risque de libération et de dispersion des fibres. L'amiante étant un cancérigène de catégorie 1 pour l'homme, des mesures strictes de prévention de l'exposition et de la propagation doivent être mises en œuvre. Les règles applicables au Royaume-Uni prévoient un confinement des opérations dans une enceinte ventilée à un taux d'au moins 8 renouvellements d'air par heure (Vol/h), pour une pression de - 5 Pa destinée à garantir que toutes les fuites aient lieu vers l'intérieur de l'enceinte. L'objectif de cette étude était d'analyser la ventilation et les caractéristiques des écoulements d'air dans une petite enceinte type. Une enceinte de 48 m<sup>3</sup> équipée de deux sas multi-compartiments a été construite pour les essais. Les caractéristiques des écoulements d'air dans l'enceinte ont fait l'objet d'une évaluation quantitative par la technique du gaz traceur. Le gaz était émis dans l'enceinte et mélangé à l'air ; la décroissance de concentration était mesurée en six points. La même procédure était répétée pour différentes positions des dispositifs d'extraction et divers taux de ventilation. Lorsque les deux sas étaient ouverts, un taux de ventilation de près de 35 vol/h était nécessaire pour générer une pression de - 5 Pa. Lorsqu'un sas était ouvert, le taux de ventilation devait atteindre environ 19 vol/h. Avec un débit d'air d'environ 2000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> et un sas ouvert, comme on le pratique couramment, les portes en polyéthylène débordaient sur l'extérieur de chacun des sas, ce qui annulait leur effet. L'utilisation de filtres d'admission séparés atténuait la déflexion excessive des portes. La pression de - 5 Pa exigée n'a pas été jugée nécessaire, et nécessiterait des volumes d'air impossibles à atteindre dans des enceintes de plus grandes dimensions. A un taux de ventilation de 8 vol/h, l'air à l'intérieur de l'enceinte était mal mélangé verticalement, quelle que soit la position des dispositifs d'extraction, et mélangé de façon variable dans le sens horizontal, selon les points d'extraction.

\* \* \* \* \*

## Airflow characteristics of small enclosures for controlling asbestos containing materials during removal

Many buildings in the UK contain asbestos. When asbestos materials are removed there is a potential for fibre release and spread. As asbestos is a category 1 human carcinogen, exposure and spread must be rigorously controlled. To prevent the spread of asbestos fibres, UK guidance states that work should be contained inside an enclosure, ventilated at a minimum rate of 8 air changes per hour (ach) and a pressure of -5 Pa should ensure that any leaks are inwards. The objective of this study was to investigate the ventilation and airflow characteristics of a typical small enclosure. A 48 m<sup>3</sup> enclosure with two multi-stage airlocks was constructed for testing. The airflow characteristics of the enclosure were quantitatively assessed by tracer gas technique. Tracer was released into the enclosure and mixed with the air; the concentration decay at 6 positions was measured. This was repeated for a variety of extraction positions and ventilation rates. With both airlocks open a ventilation rate of approximately 35 ach was required to produce a pressure of -5 Pa. With one airlock open, a ventilation rate of approximately 19 ach was required. With a flow rate of approximately 2000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> and one airlock open, as is common practice, the polythene doors impinged on the far side of each airlock chamber negating their effectiveness. Using separate inlet filters mitigated the problem of excessive door deflection. The pressure requirement of -5 Pa was found to be unnecessary and for larger enclosures would prove impossible without unfeasibly large airflows. At a ventilation rate of 8 ach the air inside the enclosure was poorly mixed vertically with all extraction positions, and variably mixed horizontally depending on the extraction position.

## Etude des paramètres influant sur l'efficacité d'une cabine de captage ouverte en façade

C. J. Saunders, S. Bennett

Health and Safety Laboratory, Buxton, UK

Les cabines ventilées ouvertes en façade sont couramment utilisées dans l'industrie pour prévenir l'exposition des salariés à divers produits chimiques. Ces cabines tendent à avoir une conception basique et ne sont souvent rien de plus qu'une structure en forme de boîte dont la partie frontale est ouverte pour offrir un accès au travailleur, avec un dispositif d'extraction à l'arrière pour capter l'air pollué. Cette conception oblige le travailleur à se tenir debout devant l'ouverture, ce qui bloque le flux d'air. L'objectif de cette étude expérimentale était de déterminer les paramètres de conception influant sur l'efficacité de ces petites cabines. Tous les essais ont été réalisés avec et sans mannequin sur une cabine autonome construite spécialement. L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>), utilisé comme gaz traceur, était émis en différents points de l'enceinte. Des échantillons d'air étaient prélevés dans la zone respiratoire du mannequin et la concentration de SF<sub>6</sub> était mesurée. Deux déflecteurs arrière différents et quatre types de collerettes fixées sur le pourtour de l'ouverture étaient testés pour des vitesses frontales de 0,3 à 0,7 ms<sup>-1</sup>. Les résultats montrent que l'ajout d'un déflecteur à l'arrière, ou l'augmentation de la profondeur de la cabine, améliore l'uniformité des vitesses d'air en l'absence de mannequin. La présence d'un mannequin devant la cabine crée une zone de "sillage" fortement turbulente devant lui. Ce « sillage » interagit avec le tourbillon contre le plancher de la cabine. Sur les quatre collerettes testées, une seule, permettant le passage de l'air entre la paroi de la cabine et la collerette, réduisait significativement la concentration de SF<sub>6</sub> dans la zone respiratoire du mannequin. Cette collerette a été considérée comme la conception la mieux adaptée pour les petites cabines partiellement ouvertes.

\* \* \* \* \*

## Investigation of the parameters that influence the effectiveness of an open fronted enclosure

Open fronted ventilated enclosures are commonly used in industry to control worker exposure to a wide range of chemicals. These hoods tend to be of basic design and often consist of nothing more than a box like structure with an open front to allow worker access and extraction at the rear to remove contaminated air. This design forces the worker to stand at the face of the enclosure and by doing so presents a blockage to the airflow. The aim of this experimental study was to investigate design parameters that influence the control effectiveness of small partial enclosures. All experimental work was carried out in a purpose built, free standing, partial enclosure with and without a manikin present. Sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) was used as a test gas and released at various positions inside the enclosure. Air samples were taken in the breathing zone of the manikin and the SF<sub>6</sub> concentration measured. Two different rear baffles and four flanges, which were fitted to the opening of the enclosure, were tested at face velocities between 0.3 to 0.7 ms<sup>-1</sup>. The results showed that the addition of a rear baffle to the enclosure, or increasing the depth of the enclosure, improved the uniformity of the air velocities without a manikin present. The presence of a manikin at the face of the enclosure caused a 'wake' region of highly turbulent air to form in front of it. This 'wake' interacted with the eddy against the floor of the enclosure. Of the four flanges tested only one, which allowed air to pass between the wall of the enclosure and the flange, significantly reduced the concentration of SF<sub>6</sub> in the breathing zone of the manikin. This flange was considered to be the most practical design for small partial booths.

## Etude expérimentale de l'efficacité des systèmes de refroidissement intégrés aux racks des centres de calcul

*M. Hoffmann, R. Streblow, D. Müller*

*RWTH Aachen University Germany, E.ON Energy Research Center, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, Germany*

Avec l'augmentation de la puissance de calcul dans les racks de serveurs informatiques, il est de plus en plus souvent nécessaire de recourir au refroidissement intégré (refroidissement direct des racks). Cela signifie qu'un dispositif de refroidissement par rack, ou pour deux racks, commande le débit d'air et la puissance frigorifique uniquement au niveau de ce ou ces racks. Ce mode de refroidissement offre la possibilité de mettre en œuvre des densités de traitement élevées et de régler la température avec précision, compte tenu du faible volume ciblé. La consommation d'énergie pour le refroidissement représentant parfois jusqu'à 50 % de la consommation totale d'énergie d'un centre de calcul, l'efficacité du refroidissement joue un rôle majeur dans l'efficacité énergétique d'un centre de calcul. La façon la plus simple d'économiser l'énergie est l'application de niveaux de températures et de débits d'air optimisés. Des tests ont donc été réalisés pour étudier l'influence de différents réglages de température sur l'efficacité du refroidissement et la performance d'ensemble de deux systèmes de refroidissement à eau glacée. On a fait varier la température de l'air traité et de l'eau glacée alimentant les unités de refroidissement pour étudier si elles assuraient le refroidissement requis même à haute température. On a également fait varier l'emplacement de la production de chaleur en cas de charge partielle, et la charge thermique globale. Les résultats montrent que l'efficacité du refroidissement augmente dans l'ensemble lorsque la température de l'eau est augmentée, mais d'autres facteurs interviennent. La température de l'air dépasse significativement le niveau fixé dans certaines configurations de charge partielle. Selon la stratégie de mesurage mise en œuvre, la variation de position de la charge thermique influe en outre sur le profil de température sur la hauteur du rack, ainsi que sur la performance globale du dispositif.

\* \* \* \* \*

## Experimental investigation of the cooling efficiency of rack-based cooling systems for IT-Equipment

Due to the rising compute density in server racks there is an increased number of cases where rack-based cooling (also known as direct rack cooling) is used. Rack-based cooling means, that there is one cooling device per one or two racks that controls the airflow and cooling power to only these racks. Rack-based cooling offers the possibility to operate high power densities and allows for a precise temperature control due to the small target volume. As the energy demand for cooling can account for up to 50 % of the total energy demand of a data center, cooling efficiency is the major topic regarding data center energy efficiency. The simplest way to save energy is the application of optimized temperature levels and air volume flow. For this reason tests were carried out to examine the influences of different temperature settings on the cooling efficiency and the overall performance of two different chilled water rack coolers. Both, the cooling air temperature and the chilled water supply temperature were varied to investigate whether the units provide the necessary cooling even at higher temperatures. Additionally, the position of heat production in part load and the overall heat load were varied. The results show an overall increase in cooling efficiency as chilled water temperature is raised, but there are other influences, too. The air temperature exceeds the set point significantly in some part load configurations depending on the measurement strategy of the cooling device. Depending on the implemented measurement strategy the varied position of heat load also influences the temperature profile over the rack height and the overall performance of the device.



## Ventilation écoénergétique dans les ateliers de peinture de l'industrie automobile – expériences et évaluation à l'échelle industrielle chez Saab Automobile en Suède

P. Rohdin<sup>1</sup>, M. Johansson<sup>2</sup>, J. Löfberg<sup>3</sup>, M. Ottosson<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Energy Systems, Linköping University, Sweden

<sup>2</sup>Saab Automobile AB

<sup>3</sup>Automatic Control, Linköping University, Sweden

<sup>4</sup>University West, Sweden

Les processus supports des systèmes industriels, tels que le chauffage, la ventilation et le refroidissement, sont des processus importants en environnement industriel, car ils influent non seulement sur les coûts énergétiques, la qualité des produits et l'ambiance à l'intérieur des locaux, mais aussi sur la santé des occupants. Le chauffage, la ventilation, l'humidification et le refroidissement des locaux industriels interviennent pour une large part dans la consommation totale d'énergie des industries manufacturières. Le bon fonctionnement des systèmes de chauffage, ventilation et conditionnement d'air (CVCA) est donc primordial. Dans la construction automobile, les ateliers de peinture sont ceux qui consomment le plus d'énergie, et près de 75 % de celle-ci est utilisée pour les étuves et les cabines de peinture. La chaîne de peinture, qui comprend l'application de peinture et l'étuvage, consomme d'importants volumes d'air pour maintenir une qualité de l'air optimale et assurer la qualité de peinture requise ; ces volumes atteignent classiquement 300 000 m<sup>3</sup>/h par cabine pour une application. Chez Volvo, dans l'atelier de peinture de Torslanda, la consommation totale d'air chauffé et humidifié est de l'ordre de 1,8 million de m<sup>3</sup>/h. La démarche adoptée dans les ateliers de peinture a consisté jusqu'à présent à maintenir des conditions aussi stables que possible pour éviter les défauts de peinture dus à des perturbations de l'équilibre. Cela signifie que ces flux d'air sont mis en œuvre y compris aux heures de faible production ou d'arrêt de la production. Il existe donc un important potentiel d'optimisation de l'efficacité énergétique, en agissant sur le flux d'air et le chauffage sans compromettre l'équilibre. On présentera une évaluation ex-post du potentiel d'efficacité énergétique et des expériences menées, à l'issue de près d'un an de fonctionnement de ce système. On traitera en outre des questions de modélisation, de métrologie, ainsi que de l'optimisation. Le potentiel d'économies d'énergie attendu est de 25 % pour les étuves, les systèmes de soufflage-extraction, les humidificateurs et le chauffage.

\* \* \* \* \*

## Energy efficient ventilation in paint shops in the car industry – experiences and evaluation of a full-scale implementation at Saab Automobile in Sweden

Support processes in industrial energy systems, such as heating, ventilation and cooling systems, are important processes in industrial premises as they are related both to energy cost, product quality, and indoor climate as well as to the health of the occupants. Heating, ventilation, humidification and cooling of industrial premises account for a large part of the total industrial energy use in manufacturing industries. This underscores the importance of well functioning Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) systems. In the vehicle production process the paint shop is the most energy intensive part, and about 75% of the energy is used in the ovens and the spray booths. The spray booth line, which includes paint application and the oven, uses large quantities of air in order to keep the air quality in an optimal range to achieve the desired paint quality, typically 300,000 m<sup>3</sup>/h per paint booth for one application. At Volvo, in the Torslanda paint shop the total use of air is about 1.8 million m<sup>3</sup>/h of heated and humidified air. The approach used in paint shops has up to now been to keep as much of steady state conditions as possible to avoid paint defects due to disturbances in the balance. This means that these high air flows are used also at low and non production hours. There is thus a large potential to increase energy efficiency by controlling the air flow and heating without losing the critical balances. This paper will present a post-implementation evaluation of the energy efficiency potential and experiences after running this system for about one year. Additional modelling, measurements and optimization will also be included in the paper. The expected potential is a 25% reduction of energy use in ovens, fans, humidifiers and for heating.

## Évaluation technico-économique d'un système de récupération de chaleur à plaques monté dans la centrale de traitement d'air d'un atelier de fabrication d'emballages thermoformés

R. Rapp

INRS Vandoeuvre-lès-Nancy, France

Cette communication présente une évaluation de terrain de l'efficacité d'un système de récupération de chaleur à plaques monté dans la centrale de traitement d'air d'un atelier de fabrication d'emballages thermoformés. L'atelier comprend une dizaine de presses qui produisent environ 3000 T de produits finis par an. Le personnel de production tourne par équipe en horaires de 3x8 et 7j/7. En 2006, l'entreprise a installé une ventilation dotée d'un récupérateur de chaleur à plaques ; l'objectif de cette installation est d'assainir l'ambiance aux postes de travail en captant au mieux les produits de dégradations thermiques des matériaux plastiques. La dispersion des polluants (formol, phénol, isocyanate, etc.) et de la chaleur est maîtrisée par un captage localisé comportant des hottes avec encoffrements partiels, placées sur chacune des presses. Le débit d'extraction, variable en fonction de l'activité, est au maximum de 16 500 m<sup>3</sup>/h ; la compensation d'air est assurée par un réseau de gaines textiles en plafond, alimenté par une centrale d'air permettant de conserver le local en légère surpression avec un débit maximal d'environ 20 000 m<sup>3</sup>/h. L'échangeur de chaleur est constitué d'un réseau de 2 x 85 veines d'air séparées par des plaques de 1 m<sup>2</sup> chacune. L'efficacité énergétique du récupérateur est déterminée à partir de l'enregistrement des paramètres physiques de l'installation (températures, débits, etc.) et des consommations électriques des différents éléments constitutifs du système de ventilation (moteurs, PAC, etc.). Sur la période d'observation de 38 jours, pendant laquelle la température extérieure a évolué entre 0 et 15° C, l'échangeur permet de couvrir pratiquement 50 % des besoins énergétiques nécessaires au réchauffage de l'air neuf. Sur la base du « tarif électricité », les économies annuelles sont de l'ordre de 3000 à 4000 €. Le surcoût d'investissement dû à l'échangeur est de l'ordre de 8000 € (6 % du coût global de l'installation), ce qui, compte tenu des économies d'énergie, donne un retour sur investissement inférieur à trois ans.

\* \* \* \* \*

## Techno-economic assessment of a plastics workshop ventilation system incorporating a plate heat recovery unit

This paper presents a field assessment of the effectiveness of a plate heat recovery system mounted in an air handling unit of a workshop manufacturing thermoformed packaging. The thermoforming workshop has about ten presses. In 2006, the firm installed a ventilation system equipped with a plate heat recovery unit. The aim was to clean the atmosphere at the workstations through improved collection of the products of thermal degradation of the plastics materials. Dispersion of the pollutants and of the heat is kept under control by localised collection by means of partially enclosed hoods placed over all of the presses. The extraction rate, which varies with activity levels, does not exceed 16,500 m<sup>3</sup>/h; make-up air is brought in via a network of ceiling mounted textile ducts fed via an air handling unit making it possible to keep the premises under slightly pressurised conditions, with a maximum flow rate of about 20,000 m<sup>3</sup>/h. The heat exchanger is made up of an array of 2 x 85 air streams separated by plates each having an area of 1 square metre. The energy efficiency of the recovery unit is determined on the basis of recordings of the physical parameters of the installation and of the electricity consumptions of the various elements making up the ventilation system (motors, heat pumps, etc.). Over the period of observation of 38 days, during which the exterior temperature varied between 0°C and 15°C, the heat exchanger made it possible to cover almost 50% of the energy needs for heating up the new air. On the basis of the "price of electricity", the annual savings are in the range of €3,000 to €4,000. In terms of investment, the extra costs due to the heat exchanger were about €8,000, which, in view of the energy savings, gives a return on investment of less than 3 years.

## Inspection d'hygiène des installations aérauliques

B. Sicre

Lucerne School of Engineering and Architecture, Switzerland

Le recueil d'instructions SICC VA104-01 sur les « Exigences hygiéniques pour les installations et appareils aérauliques » est l'actuelle directive officielle dans ce domaine pour la Suisse. Elle est basée sur la directive allemande VDI 6022-2006. Le but du projet était d'obtenir une image générale objective de la situation actuelle d'hygiène des installations aérauliques en Suisse. Au total, 100 unités de ventilation et/ou de climatisation de bâtiments variés (taille, type) ont été examinées. L'évaluation de l'état hygiénique du système de ventilation de ses composantes a été menée selon la méthodologie de la directive. Les exploitants de l'installation désireux de participer ont inscrit leur installation auprès de l'université de Lucerne. Les mesures ont alors été effectuées par des professionnels selon les normes de la directive SICC. L'état hygiénique du système et de ses composantes (filtre, refroidisseur, humidificateur, pièce de ventilateur, etc.) a été évalué par inspection visuelle (dépôt de poussière, colonies de germe, etc.) et par prélèvement d'échantillons. Ces derniers (air, surface, eau d'humidification) ont été examinés dans un laboratoire de microbiologie. De plus, on a interrogé l'opérateur de l'installation afin de mieux connaître ses habitudes en matière d'entretien et de nettoyage du système aéraulique. L'objectif était d'établir des corrélations avec les résultats de laboratoire. Les résultats gardés anonymes ont été évalués dans le cadre d'une étude statistique. Des recommandations ont été faites en ce qui concerne l'amélioration de la planification, du montage, du fonctionnement et de l'entretien. Ces recommandations ont ensuite été soumises à des associations de professionnelles et à des autorités de soins de santé. Les principaux résultats du projet seront présentés lors de la conférence.

\* \* \* \* \*

## Hygiene inspection of HVAC systems

The SWKI VA104-01 guideline on hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems and units is the current code of practice in Switzerland and is based on the German VDI 6022-2006 directive. The aim of the project was to draw a general picture of the current hygiene situation of HVAC systems across Switzerland. In total, 100 ventilation and air conditioning systems in different kinds of buildings were examined. The evaluation of the state of hygiene of the ventilation system and its components was conducted according to the guideline. The plant operators concerned registered their plant at the Lucerne University. After a preliminary qualification test, local measurements and samplings were taken by professionals according to national and international standards. The state of hygiene of the plant components (i.e. filter, cooler, humidifier, ventilator room, etc.) was assessed by visual inspection (dust deposit, germ colonies, etc.) and by taking samples. The samples (air, surface, humidifier water) were examined in a microbiology laboratory for germs. In addition, an operator was interviewed in order to find out more about his habits regarding maintenance and cleaning of the HVAC system with the purpose of correlating that data with lab results. The anonymous results were evaluated in the context of a statistical study. On this basis, recommendations for improvement in terms of planning, installation, operation and maintenance were made and submitted to professional associations and health care authorities. This paper will present the most important knowledge gained from the project.

## Proportion de logements en Europe ayant des taux de ventilation inférieurs à la limite générale européenne

A. Asikainen<sup>1</sup>, O. Hänninen<sup>1</sup>, N. Brelih<sup>2</sup>, W. Bischof<sup>3</sup>, T. Hartmann<sup>3</sup>, P. Carrer<sup>4</sup>, P. Wargocki<sup>5</sup>

<sup>1</sup>National Institute for Health and Welfare, Kuopio, Finland

<sup>2</sup>Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations, Brussels, Belgium

<sup>3</sup>Jena University Hospital, Jena, Germany

<sup>4</sup>University of Milan, Milan, Italy

<sup>5</sup>Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark

Le taux de ventilation des bâtiments est réglementé dans la plupart des pays européens, afin d'assurer un renouvellement d'air tel que l'air intérieur soit suffisamment propre pour les personnes séjournant dans les bâtiments. Afin d'estimer les bénéfices sanitaires d'une régulation de la ventilation, il faudrait disposer d'informations sur les taux réels de renouvellement d'air (TRA). Or, on dispose de peu de données à l'échelle des populations sur les taux de ventilation mesurés dans les pays européens. Pour combler cette lacune, nous avons élaboré un modèle bayésien permettant de combiner les informations provenant des données météorologiques existantes, des législations nationales et des codes de la construction, tout en tenant compte des tendances climatiques, pour estimer les distributions de probabilités des taux de renouvellement d'air dans 26 pays européens. Nous avons également analysé les distributions obtenues par rapport aux statistiques nationales sur les bâtiments, pour produire des informations sur le nombre de bâtiments dont les taux de ventilation sont inférieurs au niveau communément exigé de 0,5 renouvellement par heure. Selon les résultats, le taux de renouvellement d'air moyen dans les logements en Europe varie entre 0,61 en Europe du Nord et 1,01 en Europe du Sud, avec des écarts types de 0,46 et 0,76 respectivement ; la moyenne des 26 pays européens, pondérée en fonction de la population des pays, s'établit à 0,74/h. Nous avons admis que la distribution était log-normale au niveau national, et une analyse plus poussée des distributions a montré qu'en moyenne, 39 % des logements dans ces 26 pays avaient des taux de renouvellement d'air inférieurs à 0,5/h, ce qui correspond au total à près de 52 millions de logements, soit un nombre de personnes de près de 187 millions. Le pourcentage de logements ayant un taux de renouvellement inférieur à 0,5/h est très variable selon les pays, puisqu'il s'établit à 23 % à Chypre et en Grèce et à 51 % en Irlande.

\* \* \* \* \*

## Proportion of residences in European countries with ventilation rates below the general European limit

The ventilation rate of buildings is regulated in most of the European countries to ensure sufficient exchange of air to maintain the indoor air clean enough for people spending time in the building. Information on the actual level of air exchange rate (AER) is needed for estimation of the health benefits of adjusted/regulated ventilation, but unfortunately limited population based data is available on the measured air exchange rates in the European countries. To fill in this gap we developed a Bayesian model to combine information from the existing measurements, national legislation and building codes, and for accounting for the climatological trends in estimating the probability distributions of air exchange rates in 26 European countries. We also analysed the created distributions against the national statistics on buildings to produce information on the number of buildings with ventilation rates below the common demand of 0.5 air exchanges per hour. The results propose that the mean air exchange rate varies from 0.61 in Northern Europe to 1.01 in Southern Europe with SDs of 0.46 and 0.76 respectively in European residences, and the population weighted mean of the 26 European countries is 0.74. We assumed a lognormal distribution in national level and the further analysis of the distributions indicated that on average 39% of the residences in those 26 European countries has air exchange rate below the 0.5 /h, which means around 52 million residences in total. The preliminary results show that the number of people in Europe living in residence below the air exchange rate of 0.5 /h is around 187 million. In country level the percentage of residences below the 0.5/h varies noticeably between the individual countries being 23% in Cyprus and Greece and 51% in Ireland.

## Evaluation de la qualité de l'air intérieur grâce à des valeurs de référence

*N. von Hahn*

*Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA), Sankt Augustin, Germany*

Les valeurs limites d'exposition professionnelle s'appliquent à la concentration de substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail. Conçues pour les activités industrielles, elles ne doivent pas être appliquées aux postes de travail de bureau ou aux lieux de vie, auxquels s'appliquent des critères différents liés à la présence de groupes à risque (enfants en milieu scolaire, femmes enceintes, etc.). A ce jour, seules quelques valeurs fondées sur des données épidémiologiques et toxicologiques permettent d'évaluer la qualité de l'air intérieur. C'est pourquoi l'on recourt souvent à des valeurs comparatives basées sur l'évaluation statistique de données recueillies sur le terrain. En Allemagne, les organismes d'assurance accidents du travail collectent depuis 2001 des données météorologiques sur la qualité de l'air aux postes de travail à l'intérieur de locaux. Une sélection de composés organiques volatiles (COV) et d'aldéhydes ont ainsi été mesurés, en appliquant une procédure de mesure simplifiée et normalisée fondée sur la norme ISO 16000. C'est en 2004 que l'évaluation statistique a conduit pour la première fois à dériver de ces données des valeurs de référence, et en 2010, on a procédé à une nouvelle évaluation. On peut identifier d'éventuels changements de concentrations ou de gamme de substances en divisant le corpus de données en deux parties : jusqu'en 2005 et à partir de 2006. Les résultats fournissent une description représentative des concentrations de substances dans l'air intérieur aux postes de travail de bureau en Allemagne. A partir de toutes les données disponibles, des valeurs de référence actualisées ont été établies ; elles permettent une évaluation comparative de la qualité de l'air intérieur en milieu de travail.

\* \* \* \* \*

## Assessment of indoor air quality by reference values

Occupational exposure levels serve as limit values concerning the concentration of hazardous substances in the workplace atmosphere. They are intended for industrial workplaces and should not be applied to office workplaces and living areas: the latter are subject to different criteria, owing to the presence of groups of persons at particular risk (such as children in the case of schools, pregnant women). Up to date only few values based upon epidemiological and toxicological findings to evaluate indoor air quality are available. Therefore use is frequently made of comparative values based upon the statistical evaluation of field studies. The social accident insurance institutions in Germany have been collecting measured data on air quality at indoor workplaces since 2001. Selected volatile organic compounds (VOC) and aldehydes were determined applying a simplified and standardized measuring procedure based on DIN ISO 16000. On the basis of a statistical evaluation of the results reference values were first derived on the basis of these data in 2004, and in 2010 the data collected by that time were evaluated again. Possible changes in the concentrations and of the range of substances can be detected by dividing the data into two groups (up to 2005, from 2006). The results yield a representative description of indoor air concentrations at modern workplaces in offices in Germany. On the basis of the total stock of data, updated indoor workplace reference values were derived that can be used for the assessment of room air quality at indoor workplaces on a comparative basis.



Session posters  
Poster session

## Comparaison de l'efficacité de captage des polluants sur un plan de travail avec des systèmes de fentes d'aspiration classiques et renforcés

*O. Pech, M. Pavelek*

*Brno University of Technology, Brno, Czech Republic*

Cette communication traite de la comparaison de l'efficacité de captage des polluants sur un plan de travail avec des systèmes de fentes d'aspiration classiques et renforcés (REEXS). Le système d'aspiration renforcé repose sur la combinaison d'une extraction d'air et d'un apport d'air radial qui élargit la zone d'extraction. Il peut être configuré de différentes manières. L'objectif de cette communication est de comparer l'efficacité de captage des hottes d'aspiration, pour une même vitesse d'air au niveau de la fente d'aspiration et pour différents rapports entre les quantités de mouvement de l'air fourni et de l'air extrait. L'efficacité de captage des polluants a été mesurée au moyen d'un gaz traceur. Cette méthode consiste à émettre un gaz adapté dans l'espace situé à l'avant de la hotte d'aspiration et à mesurer sa concentration dans l'air extrait au moyen d'un détecteur multigaz. Le dioxyde de carbone a été sélectionné comme gaz traceur. La concentration en gaz traceur mesurée dans le conduit d'extraction permet de calculer l'efficacité de captage du système étudié avec un dispositif d'extraction traditionnel ou renforcé. Il est important de connaître la forme et l'étendue de la zone d'extraction effective afin de régler la hotte d'aspiration en fonction de la source de polluants.

\* \* \* \* \*

## Comparison of capture efficiency of pollutants over a workbench with traditional and reinforced slot exhaust systems

The paper deals with the comparison of capture efficiency of pollutants over a workbench with traditional and reinforced slot exhaust systems (REEXS). The reinforced exhaust system is based on a combination of air exhaust and radial air supply which enlarges the exhaust area. The reinforced exhaust system can be configured in different ways. The paper compares the capture efficiency of exhaust hoods with the same air velocity in the suction slot and with different momentum flux ratio of supplied and exhaust air flow. In order to measure the capture efficiency of pollutants, the tracer gas method is used. This method is based on supplying a suitable gas to the space in front of the exhaust hood and measuring its concentration in the exhausted air with a multi-gas monitor. As a tracer gas the carbon dioxide was chosen. From the measured concentration of the tracer gas in the exhaust pipe the capture efficiency of the investigated system with a traditional or reinforced exhaust system is calculated. Knowledge of the shape and range of effective exhausting area is important for setting the exhaust hood according to a source of pollutants.



## Etude expérimentale et numérique d'un système de chauffage efficient pour salles de bains

M. Nogami, T. Kurabuchi, S. Lee

Department of Architecture, Tokyo University of Science, Tokyo, Japan

L'énergie nécessaire pour fournir de l'eau chaude pour le bain représente une part significative de la consommation d'énergie des ménages au Japon. L'amélioration de l'environnement thermique de la salle de bain offre la possibilité de réduire la dépense d'énergie, en réduisant le besoin de chauffage. C'est sous cet angle qu'il convient d'étudier un système de chauffage approprié pour la salle de bain. Cette étude a porté sur la sensation de confort thermique selon le système de chauffage utilisé. Nous avons d'abord réalisé des essais comparatifs avec un mannequin thermique et des sujets humains, puis avons tenté de reproduire ces essais par simulation CFD. Des différences ont été observées entre les sensations thermiques subjectives et les sensations prédites compte tenu de la perte de chaleur totale mesurée avec un mannequin thermique. Nous avons constaté que la simulation CFD permettait de reproduire les essais avec mannequin thermique. Nous avons ensuite réalisé des essais subjectifs pour différents modes de chauffage, associant un système de chauffage par convection de puissance variable, un chauffage par le sol dans la pièce où l'on se lave et une baignoire remplie d'eau chaude. Ces essais ont montré que le confort subjectif est nettement amélioré lorsque la pièce où l'on se lave est chauffée uniformément par un chauffage au sol. L'étude CFD a montré en outre que la perte de chaleur par rayonnement est beaucoup plus importante que la perte de chaleur par convection ; il importe donc de maintenir une TRM élevée dans la salle de bains. Partant de ces résultats, nous avons recherché par analyse CFD un système de chauffage efficient. L'analyse a montré qu'il était efficace d'installer un convecteur indirect avec plaque radiante à proximité du flanc de la personne qui se lave.

\* \* \* \* \*

## Experimental and numerical study of efficient heating systems in the bathrooms

Energy needed to provide hot water during bathing activity shares significant part in Japanese residential energy consumption. Improving thermal environment in the bathroom has some possibility to reduce energy because the need to warm a body by bathing decreases. From this viewpoint, it is needed to elucidate the appropriate heating system of bathroom. In this research, we studied thermal comfort sensation controlled by heating system at bathing. First, we performed comparative experiments using a thermal mannequin and human subjects, and tried to reproduce experiments by CFD simulation. There observed some differences between subjective thermal sensations and predicted sensations based on overall heat loss measured using thermal mannequin. It was found that CFD simulation was capable to reproduce experiments using thermal mannequin. Then, we conducted subjective experiments for different heating conditions combining convective heating system with different heating capacity, floor heating in wash place and bathtub filled with hot water. It was found that subjective comfort is markedly enhanced in uniformly distributed environment using floor heating in wash place. It was also found through CFD study that radiant heat loss is much more important than convective heat loss in the bathroom, so keeping high MRT condition is important in the bathroom. Based on these findings, we examined efficient heating system in the bathroom by CFD analysis. From this analysis, we found it effective to install an indirect convector with radiant plate in the vicinity of the flank for the human body standing in the wash place.

## Effet des forces électrochimiques sur le dépôt des nanoparticules dans le cas des écoulements turbulents

A. Mehel

Thermo-Fluids Laboratory, ESTACA, 92300, Levallois-Perret, France

Afin d'améliorer la compréhension du comportement dynamique des nanoparticules, des outils CFD ont été largement utilisés pour simuler leur dispersion et leur dépôt, des mécanismes qui sont dominés, quand ces particules sont considérées comme neutres, par les diffusions brownienne et turbulente. Pour simuler ces mécanismes dans le cadre de ce travail, nous avons adopté un modèle RANS pour le calcul des propriétés moyennes de la phase porteuse et une méthode de suivi Lagrangien pour la phase dispersée. Cette combinaison conduit à un compromis acceptable entre simplicité et précision. Cependant, les résultats obtenus grâce à cette approche doivent faire l'objet d'une attention particulière en raison de la forte dépendance de la déposition aux interactions entre les mouvements des micro/nanoparticules et ceux des structures turbulentes, qui doivent être dûment prises en compte. Ces interactions, qui assurent la dispersion turbulente des particules, sont évaluées au travers de l'implémentation d'un nouveau modèle de dispersion. Ce modèle est basé sur l'équation de Langevin dans laquelle la prédiction de la vitesse fluctuante de la phase fluide à la position des particules est assurée continuellement. Lorsque les particules portent des charges électriques, d'autres forces peuvent avoir une influence non négligeable sur la déposition des nanoparticules. Parmi ces forces électrostatiques et chimiques, on peut citer celle de Coulomb, dipôle, image et de van der Waals. Si, dans le cas des écoulements laminaires, plusieurs études ont montré le rôle important qu'elles peuvent jouer pour le dépôt de nanoparticules, pour les écoulements turbulents, peu d'études se sont intéressées à leur influence comparativement au mécanisme de diffusion turbulente. Dans cette étude, l'influence de la turbulence par rapport au mécanisme de dépôt électrochimique est évaluée quand une approche RANS combinée à un modèle de dispersion de Langevin est utilisée. Les résultats montrent que, selon la taille des particules et du champ électrique appliqué, le mécanisme de dépôt électrochimique pourrait devenir le mécanisme prédominant.

\* \* \* \* \*

## Effect of electrochemical forces on nanoparticle deposition in a turbulent flow

Nanoparticle deposition under the influence of electrostatic forces has many engineering applications. Pharmaceutical manufacturing, aerosol filtration and separation are just a few examples. To improve the understanding of the dynamic behaviour of nanoparticles, CFD tools have been widely used to simulate their dispersion and deposition which are dominated, when the particles are considered neutral, by the Brownian and turbulent diffusion. To simulate these mechanisms in this work, the two-phase flow is computed using a RANS model for the mean fluid properties, and a Lagrangian tracking approach for the dispersed phase as they lead to an acceptable compromise between simplicity and accuracy. However, the results using this approach need to be assessed since it has been shown that deposition prediction strongly depends on the interactions between the nanoparticle motions and turbulence eddies, which are to be properly accounted for. These interactions, which ensure the particle turbulent dispersion, are predicted here through a user implemented Langevin-based dispersion model in which the fluctuating fluid velocity at particle location is generated continuously. When particles are carrying charges, the aerosol particles experience electrostatic and chemical forces such as Coulombic, dipole, image and van der Waals forces. Several studies have shown the important role that they could play for nanoparticle deposition in laminar flows. For turbulent flows, when a RANS model is combined with a Langevin dispersion model, the influence of the turbulence diffusion mechanism in comparison to the electrochemical deposition mechanism is assessed in this work. It is shown that depending on particle size and the electrical field, the electrochemical deposition mechanism could become the predominant deposition mechanism.

## Facteur d'émission de solvants hydrocarbures fluorés utilisés dans une machine industrielle de dégraissage

C. K. Huynh<sup>1</sup>, H. Herrera<sup>1</sup>, R. Bruzzi<sup>1</sup>, N. Charrière<sup>1</sup>, P. A. Porchet<sup>1</sup>, P. Boiteux<sup>1</sup>, C. Arnaud<sup>1</sup>, R. Brunschwigg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut universitaire romand de Santé au Travail (IST), Switzerland

<sup>2</sup>Consultant Vertrel® Speciality Fluids, Switzerland

Les solvants hydrocarbures fluorés sont souvent utilisés comme dégraissant dans l'industrie des machines. Certains Chlorofluorocarbones (CFC-113 ou Fréon) sont réputés détruire la couche d'ozone et sont interdits depuis 1987 (Protocole de Montréal). D'autres solvants tels que le HFC 43-10mee ou le 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-décafluoropentane (Vertrel@XF) ont fait leur apparition comme solvants de remplacement de CFC-113, avec un nouveau type de machine de dégraissage appelée « Triple Guard ». Ce nouveau produit est classé « Ozone-safe ». Les HFC et les HFE ne posent pas de problème de destruction de la couche d'ozone et sont autorisés officiellement partout dans le monde : États-Unis, Japon, Asie, Europe (sauf la Suisse). Notre méthode a consisté à mesurer la concentration de HFC 43-10mee émise par la machine « Triple Guard », munie de condenseurs à froid et à petite ouverture, dans une cabine expérimentale et en situation réelle, dans une usine. Nous présentons, dans cette étude, les facteurs d'émission calculés en fonction des modes d'utilisation de la machine de dégraissage. Diverses approches méthodologiques sont discutées et commentées : le jugement d'expert, les mesures pratiques et la modélisation. Des améliorations sont proposées et validées afin de ramener à un minimum les facteurs d'émission. Différents modèles sont utilisés en comparaison avec les mesures réelles : 1-box, 2-zone, Eddy diffusion, CFD. En conclusion, cet exemple pratique permet d'illustrer les différentes manières de déterminer le facteur d'émission d'un solvant. En comparant les valeurs obtenues par la pratique avec les résultats de la modélisation, nous soulignons l'aspect facilité de l'approche pratique, pas toujours complexe ni coûteuse pour obtenir des résultats. En revanche, les performances des modèles sont très variables, avec des incertitudes très dispersées.

\* \* \* \* \*

## Emission factor of a hydrofluorocarbon solvent used in an industrial degreasing machine

Introduction: Fluorocarbon solvents are widely used in the machine industry as a degreaser. Some chlorofluorocarbons (CFCs or Freon-113) are known to destroy the ozone layer and have been banned since 1987 (Montreal Protocol). Other new solvents such as HFC-43-10 mee or 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoropentane (Vertrel @ XF), have emerged as a solvent replacement for CFC-113, accompanied by a new type of degreasing machine called "Triple Guard". This new product is classified as "ozone-safe". HFCs and HFEs do not destroy the ozone layer and are officially authorized throughout the world: United States, Japan, Asia, EU, with the exception of Switzerland! Method: Through the measurement of the concentration of HFC-43-10 mee emitted from the "Triple Guard" machine, equipped with a condenser with a small opening in a test cabin and in a real factory, we present in this study the emission factors calculated in relation to patterns of use of the degreasing machine. Various methodological approaches are discussed and commented on: the rule of thumb, practical measures and modeling. Improvements are proposed and validated to reduce the emission factors as low as possible. Different models are used in comparison with actual measurements, "one-box", "2-zone", Eddy diffusion, CFD. Results: This practical example illustrates the different ways to determine the emission factor of a solvent. By comparing the values obtained in practice with the modeling results, we emphasize the easy, practical aspect; it is not always complicated or expensive to get the results. However, the models are not sufficiently effective in achieving the same performance, with very dispersed uncertainty values.

## Système innovant d'élimination des graisses dans les installations de ventilation des cuisines

A. Taipale<sup>1</sup>, K. Heinonen<sup>1</sup>, M. Lehtimäki<sup>1</sup>, S. Vartiainen<sup>2</sup>, K. Korhonen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VTT Technical Research Centre of Finland, Tampere, Finland

<sup>2</sup>Jeven Ltd, Mikkeli, Finland

Un système innovant de séparation des gouttelettes pour les hottes de cuisines a été mis au point, modélisé et étudié. La solution est basée sur la technologie des filtres rotatifs. Cette innovation permet une réduction significative des coûts de maintenance, ainsi que des économies d'énergie, dans la mesure où elle prévient le colmatage des échangeurs de chaleur. Le principe est d'améliorer le rendement de séparation en ajoutant la force centrifuge au mécanisme de filtration par inertie. Pour cela, on fait tourner à grande vitesse le matériau filtrant. La rotation induit une différence de vitesse entre les particules et la surface du filtre. Le rendement de filtration est accru du fait d'une augmentation de la probabilité de collision entre les particules et le média filtrant. Le mouvement de rotation crée une composante de flux tangentielle qui peut être mise à profit pour l'étanchéité sans contact et l'auto-nettoyage du matériau filtrant. Les particules collectées s'accumulent pour former de grosses gouttelettes qui sont transportées vers le pourtour puis relarguées sous l'effet de l'inertie. Les particules relarguées sont guidées vers un container de récupération, puis éliminées au cours des opérations de maintenance. Lors des tests en laboratoire, le rendement de séparation du prototype était élevé, puisqu'il permettait de collecter les particules à partir de 2-3  $\mu\text{m}$ , alors que les séparateurs de graisses classiquement utilisés dans les cuisines ne commencent qu'à 5-7  $\mu\text{m}$ . Le rendement maximal est obtenu pour le même niveau de perte de charge que dans les solutions classiques. La première application commerciale de la technologie des filtres rotatifs est le séparateur de graisses pour cuisines TurboSwing, lancé par l'entreprise finlandaise Jeven Ltd. Des séparateurs de ce type ont été installés dans plusieurs cuisines de restaurants en Finlande, et l'expérience des utilisateurs est encourageante : le système est facile à utiliser et le séparateur a un fonctionnement fiable, permettant de garder propres les conduits d'extraction d'air.

\* \* \* \* \*

## A novel grease removal system for kitchen ventilation

A novel kitchen hood droplet separation system has been developed, modelled and studied. The solution is based on a rotating filter technology. This innovation provides significant reductions in maintenance costs and enables efficient energy recovery by preventing the heat exchangers from clogging. The main idea is to improve the separation efficiency by enhancing the inertial filtration mechanism with centrifugal force. It can be done by rotating the filter material at high speed. The rotation causes velocity difference between particles and collection surface. The filtration efficiency is increased due to higher collision probability between the particles and the filter media. The rotating movement induces a tangential flow component, which can be utilized in non-touch sealing and self-cleaning property of the filter material. The collected particles accumulate to big droplets which are transported to outer edge and finally released due to their high inertia. The released particles are conducted to the container, where the collected material is removed during maintenance. In the laboratory test the separation efficiency of the prototype was high starting from particle size of 2-3  $\mu\text{m}$  while the current kitchen grease separators are typically efficient only from 5-7  $\mu\text{m}$  upwards. The higher efficiency is achieved with the same pressure drop level as the current solutions. The first commercial application of the rotating filter technology is the kitchen grease separator TurboSwing launched by the Finnish company Jeven Ltd. The separators have been installed in several restaurant kitchens in Finland, and the user experiences have been promising; the system is easy to use and the separator operates reliably and efficiently keeping the exhaust ducts clean.

## Colmatage des filtres plissés et des filtres plans par des agrégats de nanoparticules simulant un aérosol de combustion

S. Bourrous<sup>1,2,3</sup>, L. Bouilloux<sup>1</sup>, F.-X. Ouf<sup>1</sup>, J.-C. Appert-Collin<sup>2</sup>, D. Thomas<sup>2</sup>, L. Tampère<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), Gif-sur-Yvette, France

<sup>2</sup>Université de Lorraine, LRGP, Nancy, France

<sup>3</sup>Camfil Farr, Pont Sainte Maxence, France

En raison de leur grande surface de filtration, la technologie des filtres plissés est utilisée pour la conception de filtres à air industriels. En outre, leur application dans des secteurs spécifiques, comme l'industrie nucléaire, nécessite une très haute efficacité de filtration, même dans un cas accidentel qui pourrait conduire à un important colmatage des filtres. Les objectifs de cette étude sont l'acquisition de données analytiques sur le colmatage des filtres par des agrégats de nanoparticules simulant un aérosol de combustion et sur la porosité du gâteau ainsi formé. La porosité du gâteau est déterminée selon deux méthodes : 1) par mesure de la masse et de l'épaisseur du dépôt par topomicroscopie (mesure par variation de la distance focale), 2) par observation directe au MEB, en utilisant des échantillons de filtres colmatés, fixés et enrobés (Schmidt et al., 1990). Les expériences ont été réalisées, d'une part, sur le banc d'essais CATFISH utilisé pour étudier le colmatage de filtres plissés, de dimensions réduites, dans des conditions contrôlées, d'autre part, sur un banc d'essais spécialement développé pour les filtres plans. Les particules de différentes natures sont générées avec un générateur PALAS GFG-1000. L'étude montre, pour le colmatage par des nanoparticules et dans la gamme de vitesse étudiée, que l'évolution de la perte de charge de filtres plissés lors de l'étape de la filtration de surface est indépendante de la vitesse de filtration. Par ailleurs, l'évolution linéaire de la perte de charge des filtres plissés lors de la filtration de surface permet de modéliser le colmatage des filtres avec le modèle de Kozeny-Novick ou un modèle dérivé de celui de Davies. Cependant, des essais complémentaires doivent être menés pour comprendre les phénomènes physiques qui régissent la transition entre l'étape de filtration en profondeur et l'étape de filtration de surface. En outre, un second objectif est de mesurer la pénétration des aérosols dans le médium en utilisant la technologie EDX, cette grandeur étant une donnée d'entrée très sensible dans les modèles de colmatage.

\* \* \* \* \*

## Clogging of mini-pleat and plane air filters by nanoparticle aggregates simulating combustion aerosol

Due to their large filtration surface, the technology of pleated filters is used to design industrial air filters. Moreover, their application in specific industries, such as the nuclear industry, requires a very high level of filtration efficiency, even in accidental cases which could lead to an excessive loading of the filters. This study aims to acquire analytical data about clogging by nanoparticles aggregates, and cake porosity, simulating a combustion aerosol. The determination of cake porosity is performed by two different methods: the first using topomicroscopy measurement and the second with embedded filter samples observed with a SEM (Schmidt et al., 1990) The set of experiments was performed both on the CATFISH test bench used to study the clogging of mini-pleated filters in controlled conditions and another test bench specially developed for plane filters. The particles are generated with a Palas GFG-1000 and different kinds of electrodes. The study shows, for the clogging by aggregates of nanoparticles and for the tested velocity range, that the evolution of the pressure drop of pleated filters during the surface filtration stage is independent of the filtration velocity. Moreover, the linear evolution of the pressure drop of mini-pleat filters during the surface filtration stage offers the possibility to model the clogging of filters with the Kozeny-Novick model or a Davies-derived model. However, additional tests must be conducted to understand the physical phenomena governing the transition between the depth and the surface filtration stage. In addition, a second objective is to measure the aerosol penetration inside the filter media using EDX technology which allows for sensitive inputs of the clogging models.

## Étude numérique de l'effet de la pente sur la ventilation d'un tunnel routier en courbe

*N. Mohammad Aliha, A. Kazemipour, H. Afshin, B. Farhanieh*

*School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran*

Les tunnels routiers sont des espaces clos où la qualité de l'air peut facilement se détériorer sous l'effet des polluants et des gaz d'échappement émis par les véhicules. L'optimisation de l'efficacité et de la performance des systèmes de ventilation des tunnels routiers afin de contrôler la concentration de polluants et de fumées d'incendie constitue l'une des questions importantes traitées par les chercheurs. Les systèmes de ventilation des tunnels pour véhicules peuvent être transversaux, semi-transversaux ou longitudinaux. En général, les tunnels à circulation unidirectionnelle de moins de deux kilomètres de long sont munis de systèmes de ventilation longitudinaux afin que la sécurité soit toujours garantie, que ce soit en conditions normales ou dans les situations d'urgence. Des ventilateurs axiaux sont fixés sous la voûte du tunnel. Ces ventilateurs accélèrent le flux d'air qui les entoure puis le réinjectent dans le flux du tunnel, ce qui génère un flux longitudinal. Une série d'études expérimentales et numériques ont été menées dans ce domaine. Ainsi, Mutama et al. (1996) ont étudié l'aérodynamique d'un ventilateur et montré que si ce dernier est situé très près de la paroi, cela crée une zone de recirculation d'air, mais que s'il est situé à distance de la paroi, cette recirculation est inexistante. Si l'accélérateur est situé sur l'axe, on observe des instabilités dans la région proche de la paroi du tunnel. Le principal objectif de cette étude numérique 3D est d'examiner l'influence de la pente sur l'écoulement d'air dans un tunnel routier. Trois types de tunnels en courbe et droits avec des pentes positives, négatives et nulles, équipés de ventilateurs identiques, sont pris en considération. La vitesse est cartographiée et analysée dans différentes sections du tunnel. En outre, l'influence de la pente est comparée dans un tunnel en courbe et un tunnel droit.

\* \* \* \* \*

## Numerical study of the effect of slope on the ventilation of a road curved tunnel

Road tunnels are enclosed places in which the quality of air may easily be deteriorated by the effect of pollutants and the exhaust gas emitted from the vehicles. Optimizing and improving the efficiency and performance of ventilation systems in the road tunnels, in order to control the concentration of pollutants and smoke from fire, is one of the important issues that researchers are dealing with. For vehicle tunnels, the ventilation systems can be classified as full transverse, semi transverse and longitudinal. Typically, one way tunnels with length less than 2 kilometers, are ventilated with longitudinal systems in order to provide a good safety in ordinary and emergency conditions. Jet fans will be installed close to the ceiling of the tunnel in appropriate arrangement. The airflow around the jet fan is accelerated in it and subsequently re-injected into the flow of the tunnel and longitudinal flow is generated. Many experimental and numerical studies have been performed in this field. Mutama et al. (1996) investigated the aerodynamic of a jet fan and showed that if the jet fan is very close to the wall, return flow will be created but with the getting distance from the wall, the return flow will cease. If the jet fan is located at the axis, instability is observed in the region close to the wall of the tunnel. The main objective of this 3D computational study is to investigate the influence of the slope on airflow structure in a roadway tunnel. Three kinds of curved and straight tunnels with negative, positive and zero slopes with the same jet fans are considered. Velocity is mapped and discussed at different sections. In addition, the influence of the slope in a curved tunnel is compared with a straight one.

## Étude thermique et dynamique des paramètres de soufflage d'un multijet tourbillonnaire

M. Braikia<sup>1</sup>, A. Khelil<sup>1</sup>, L. Loukarfi<sup>1</sup> H. Naji<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université H.B., Chlef, Algérie

<sup>2</sup>Laboratoire Génie Civi & géo-Environnement (LGCgE- EA 4515), Université d'Artois/Faculté des Sciences Appliquées, Béthune, France

<sup>3</sup>Université Lille Nord de France, France

La ventilation et le conditionnement d'air des locaux posent le problème de l'homogénéité de température, surtout dans le cas des locaux de grand volume ou de grande hauteur. L'un des moyens qui permettrait l'amélioration de l'homogénéité thermique et l'efficacité du traitement d'air est l'utilisation des processus de mélange des écoulements au moyen de structures tourbillonnaires. L'évaluation de la pertinence d'une intégration des jets tourbillonnaires dans le domaine du traitement d'air et de ventilation des espaces d'habitation ou de transport nécessite, au préalable, une étude et analyse du multijet tourbillonnaire sur toute sa longueur et dans des conditions de soufflages adéquates. Se pose alors le choix de la configuration d'un système de soufflage rendant le mélange et la répartition spatiale des jets de ventilation plus efficaces dans l'optique de l'intégration du système dans les grilles de diffusion d'air, ou pour homogénéiser les mélanges dans les enceintes, ou tout type de confinement comme les chambres de combustion. Différentes études expérimentales ont conduit à l'optimisation de la géométrie des diffuseurs, ce qui a permis de bien saisir l'importance des paramètres comme l'inclinaison des ailettes du diffuseur, la présence du jet central, le nombre de jets adjacents, le nombre de tourbillonnements, le sens de rotation du jet central par rapport aux jets périphériques, le déséquilibre en position et en température du jet central par rapport aux jets adjacents, l'angle entre l'axe du jet central et l'axe des jets latéraux. L'analyse des configurations étudiées montre clairement que l'interaction entre les jets tourbillonnaires induit une redistribution de la température dans la zone de mélange, tout en permettant la diffusion du jet qui en résulte. Le jet central contrôle le système de diffusion tourbillonnaire. Il joue donc un rôle important dans l'amélioration de l'homogénéisation de l'écoulement résultant. Selon le cas, on peut soit traiter de grands espaces soit parfaire les conditions de confort pour les occupants des locaux, lorsque ce type de système est utilisé pour le conditionnement d'air.

\* \* \* \* \*

## Thermal and dynamic study of the blowing parameters of a multi-swirling jet

Ventilation and air conditioning pose the problem of temperature homogenization, especially in the case of rooms with large volumes and high ceilings. One way to improve the thermal homogeneity and efficiency of air treatment is by using flow mixing processes with swirling jets. The evaluation of the relevance of integrating swirling jets in the field of air conditioning and ventilation of living spaces and transport requires a preliminary study and analysis of a multi-swirling jet under adequate conditions. This imposes the choice of a configuration of a blowing jet system in order to make the ventilation jets more efficient in terms of mixing and spatial distribution with a view to its integration into the air diffuser, or to homogenize the air mixture in the chambers, or of combustion chambers. Several experimental studies have led to the optimization of the geometry of the diffuser, which helped to understand the importance of parameters such as the inclination of the vanes of the diffuser, the presence of the central jet, the number of adjacent jets, the number of jets, the rotation direction of the central jet compared to adjacent jets, the imbalance in position and temperature of the central jet compared to jets adjacent, the angle between the axis of the central jet and that of the side jets. Analysis of the configurations studied clearly shows that the interaction between the swirling jets induces a redistribution of temperature in the mixing zone, while allowing the diffusion of the resulting jet. The central jet controls the swirling diffusion system. It plays an important role in improving the thermal homogenization of the resultant flow. Where appropriate, we can either handle large spaces or perfect comfort conditions for occupants of premises where this type of system is used for air conditioning.



## Étude numérique de l'optimisation de l'efficacité d'un système de ventilation longitudinale des grands édifices

T. Chammem<sup>1,2</sup>, O. Vauquelin<sup>1</sup>, H. Mhiri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNIMECA, Marseille, France

<sup>2</sup>ENIM, Monastir, Tunisie

Dans ce travail, on propose d'étudier numériquement une nouvelle méthode de ventilation longitudinale d'un grand hangar. Il s'agira de procéder à une injection d'air extrait de l'extérieur et dirigé à l'intérieur du volume de l'édifice par deux jets de section carrée et de dimension faible par rapport à l'édifice. Ces deux jets sont placés sur les parois latérales à mi-hauteur du hangar et inclinés vers le centre du hangar selon un angle variable qu'on cherche à optimiser. L'influence de l'angle d'inclinaison de deux jets ainsi que du nombre de Reynolds sur l'évolution de l'écoulement et sur l'efficacité du système de ventilation a été étudiée. Ce problème a été résolu numériquement à l'aide du code de calcul industriel Fluent. Ce dernier résout les équations de Navier Stocks par la méthode de volume fini. On a utilisé le modèle de fermeture k-epsilon associé à des lois de paroi pour tenir compte des grandeurs caractéristiques dans la sous-couche visqueuse dans le cas des angles d'inclinaison élevés qui rendent l'écoulement très proche de la paroi. Le maillage est structuré et non uniforme. Un raffinement est effectué longitudinalement près des parois pariétales et dans les couches de mélange qui se développent de part et d'autre de l'axe du jet, là où apparaissent de forts cisaillements. Les résultats numériques ont montré, d'une part, qu'il existe un angle d'inclinaison optimale pour réduire la perte de charge et améliorer l'efficacité de l'installation et, d'autre part, que pour  $Re > 1.5 \times 10^5$  à l'injection, l'efficacité du système n'évolue plus significativement.

\* \* \* \* \*

## Numerical study of the optimisation of a longitudinal ventilation system in a large enclosure

This paper presents a new method for providing longitudinal ventilation in a large enclosure. The concept is based on supplying external air into the large enclosure by two small jets. The two jets are located midpoint between the floor and the ceiling and are inclined at a fixed pitch angle toward the side wall. Numerical simulations are performed using the Fluent CFD software to investigate the influence of jet pitch angle and the Reynolds number on the flow behaviour inside the enclosure and also on the installation efficiency. It was found that by controlling the pitch angle of the two jets, the installation efficiency is enhanced. This analysis showed that there is an optimal pitch angle which minimises the pressure losses close to the wall and increases the ventilation efficiency significantly. A strong influence on the jet evolution was found for  $Re < 1.5 \times 10^5$ , but also that the jet and the induction rate were close to the converged state for higher Reynolds numbers.

## Détermination des paramètres influant sur la vitesse de ventilation critique dans les tunnels

J. Amnian, A. Kazemipour, B. Farhanieh, H. Afshin

School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

La ventilation dans les tunnels revêt une importance grandissante du fait du développement des tunnels ferroviaires et routiers. Les systèmes de ventilation des tunnels sont conçus pour les situations normales et les situations d'urgence. Ils constituent le principal moyen de maîtriser des phénomènes tels que des incendies se produisant dans les tunnels. La vitesse de ventilation critique est l'un des facteurs essentiels à prendre en compte pour concevoir un système de ventilation de secours fiable. La vitesse de ventilation critique est le débit d'air nécessaire pour empêcher la fumée et la chaleur de remonter vers l'amont de la zone incendiée. Si la vitesse de l'air est inférieure à la valeur critique, la fumée et la chaleur se propagent vers l'amont du foyer, ce qui réduit la visibilité et la proportion d'air frais dans le tunnel. Si la vitesse de l'air est supérieure à la valeur critique, la fumée et la chaleur se déplacent vers l'aval du tunnel, ce qui fournit de l'air frais et permet aux passagers de s'échapper en toute sécurité. En outre, dans ce cas de figure, les équipements subissent moins de dommages. La présente étude a pour objet de déterminer la vitesse de ventilation critique et les paramètres influant efficacement sur elle. À la différence d'autres travaux similaires, dans la présente étude, on modélise l'incendie en cherchant à déterminer le taux de dégagement de fumée et le débit calorifique, que l'on considère comme les deux principaux paramètres influant sur l'incendie, au lieu de la combustion. Les résultats obtenus montrent que la section transversale de l'incendie dans le tunnel, la position de l'incendie et la pente du tunnel ont un effet positif sur la vitesse de ventilation et que leur augmentation fait s'accroître la vitesse critique. La propagation et le blocage du feu ont un effet négatif sur la valeur de la vitesse de ventilation et leur augmentation fait décroître la vitesse critique.

\* \* \* \* \*

## Investigation of effective parameters on critical ventilation velocity in tunnels

With the development of tunnel railways and roadways, the importance of tunnel ventilation has increased significantly. Ventilation systems in tunnels are designed for normal and emergency situations. Emergency ventilation system is the primary way of dealing with phenomenon like fire in tunnels. One of the key factors in designing a reliable emergency ventilation system is the critical ventilation velocity. The critical ventilation velocity is the amount of airflow necessary to prevent back layering of smoke and heat to upstream of the fire region. If the air velocity is lower than critical value, smoke and heat of fire spread to the fire upstream resulting in visibility and fresh air reduction in the tunnel. In air velocities higher than the critical value, smoke and heat moves to the downstream of the tunnel providing fresh air and a safe passage for passengers to escape. Furthermore, in this situation damages to the equipment are reduced. The aim of this research is to investigate the critical ventilation velocity and effective parameters on it. Unlike other similar works, in this research fire is modeled by investigating the smoke and heat release rates as the two major effective parameters on fire instead of combustion. Obtained results show that, cross section of fire in tunnel, position of fire and tunnels slope have positive effect on ventilation velocity and with increasing them, critical velocity is increased. Fire spread and blockage have negative effect on the ventilation velocity value and with increasing them, critical velocity is decreased. Keywords: fire and smoke modeling, back layering, critical ventilation velocity, heat release rate.

## Méthode de mesure in situ pour la détermination du coefficient de transfert thermique convectif dans les immeubles d'habitation, au moyen d'un capteur de mesure de la température en deux points

N. Ohira<sup>1</sup>, T. Kurabuchi<sup>2</sup>, T. Ogasawara<sup>3</sup>, S. Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tokyo Gas Co., Ltd., Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Tokyo University of Science, Tokyo, Japan

<sup>3</sup>Meisei University, Tokyo, Japan

Le coefficient de transfert thermique convectif des éléments de construction est un paramètre indispensable pour évaluer l'environnement, le confort et les charges thermiques dans les immeubles ventilés à air conditionné. Cependant, ce paramètre est difficile à mesurer sur site, compte tenu du nombre de facteurs en cause, tels que les variations de la température de l'air dans le temps, l'effet d'accumulation, le rayonnement solaire, etc. Nous présentons une technique relativement simple pour déterminer le coefficient de transfert thermique convectif des éléments de construction, en utilisant un capteur de mesure de la température en deux points, placé dans la sous-couche limite visqueuse du mur. Cette méthode permet de déterminer le coefficient de transfert thermique par convection dans divers environnements (chauffage radiant, chauffage par convection, états transitoires, notamment). Pour confirmer qu'elle présente le degré de précision requis pour être appliquée à des immeubles d'habitation existants, nous avons mesuré dans un premier temps le coefficient de transfert thermique dans une enceinte d'essai. Puis nous avons évalué les résultats mesurés selon les modes de conditionnement d'air et les points de mesure (surface d'un mur, sol, par exemple). Pour vérifier, dans un deuxième temps, les limites de la méthode pour les états transitoires, nous avons évalué les résultats en faisant varier la température de surface de l'élément de construction. De plus, nous avons étudié la faisabilité dans un immeuble d'habitation de Tokyo. Les résultats mesurés montrent que le coefficient de transfert thermique des éléments de construction peut être quantifié avec succès à l'aide d'un capteur mesurant la température en deux points. La méthode peut donc être considérée comme efficace pour déterminer sur site le coefficient de transfert thermique convectif d'éléments de construction. Elle nous a en outre permis de mesurer le coefficient de transfert thermique convectif en continu.

\* \* \* \* \*

## *In-situ* measurement method to determine convective heat transfer coefficient of residential buildings using a 2-point temperature measuring sensor

A convective heat transfer coefficient of building elements is indispensable parameter to evaluate indoor thermal environment, thermal comfort and heat loads in air-conditioned and ventilated buildings. However, measuring the convective heat transfer coefficient of building elements on site is rather difficult due to the multitude of factors, such as temporal changes in air temperature, storage effect and heat due to sunlight, etc. In this paper, we propose a comparatively simple technique to determine the convective heat transfer coefficient of building elements using 2-point temperature measuring sensor situated in viscous sublayer of wall boundary layer. It is possible to determine the convective heat transfer coefficient on various environment such as radiative heating, convective heating and transient states by using this method. To confirm this method as adequately accurate method that can apply existing residential building, first, we measure the heat transfer coefficient with a test chamber. Then, we evaluate the measured results at various air-conditioning mode and measuring point such as a surface of wall and floor. Second, to verify its limitation on transient states, we evaluate the results with varying surface temperature of building element. In addition, we inspect its feasibility with an existing residential building located in Tokyo. The measured results show the heat transfer coefficient of building elements can be successfully quantified by using 2-point temperature measuring sensor. Therefore, the proposed method can be considered an effective method to determine the convective heat transfer coefficient of building elements on site. Furthermore it was possible to measure the continuous convective heat transfer coefficient with the suggested method.

## Evaluation par mesurage de l'efficacité énergétique annuelle d'un système de ventilation de type labyrinthe thermique

S.-Y. Song, J.-H. Song

Ewha Womans University, Seoul, South Korea

La ventilation est essentielle pour maintenir un environnement intérieur sain. En été et en hiver, cependant, les conditions climatiques extérieures imposent une ventilation, et donc une consommation d'énergie, accrue. C'est pourquoi il importe d'améliorer l'efficacité énergétique des systèmes de ventilation. Un labyrinthe thermique est un système de ventilation dans lequel l'air extérieur est introduit dans le local via une structure en béton en forme de labyrinthe, placée sous le bâtiment. L'échange thermique avec le sol permet à l'air d'être pré-refroidi en été et préchauffé en hiver. Un labyrinthe thermique a récemment été intégré à un bâtiment de conception écoénergétique. Cependant, l'efficacité énergétique annuelle du système n'est pas connue avec précision. Cette étude avait donc pour objet d'analyser l'efficacité énergétique du labyrinthe thermique mis en place par Dominique Perrault à Séoul (Corée du Sud) sur le campus de l'université Ewha. Des mesures in situ ont été effectuées du 1er août 2010 au 31 juillet 2011. La température sèche (°C) et l'humidité relative (%) du labyrinthe externe et interne, ainsi que le débit de ventilation ( $m^3/h$ ) ont été mesurés et analysés. Sur la base des données mesurées, l'efficacité énergétique du système a été évaluée en comparant le préchauffage/pré-refroidissement et le taux de déshumidification/humidification dans deux cas : 1) avec labyrinthe thermique, situation réelle, et 2) sans labyrinthe thermique, situation théorique. On a également analysé l'augmentation nécessaire de la puissance du ventilateur dans le cas du labyrinthe thermique.

\* \* \* \* \*

## Annual energy efficiency evaluation of thermal labyrinth ventilation system by measurement

Ventilation is essential to maintain a healthy indoor environment. However, in summer and winter, thermal conditions of outdoor air are so poor that ventilation cannot but increase energy consumption. Thus, energy-efficient ventilation system is very important. Thermal labyrinth system is a ventilation system which intakes outdoor air through an underground concrete structure shaped like a labyrinth. By the heat exchange with ground, this system can pre-cool and pre-heat the outdoor air in summer and winter, respectively. Recently, thermal labyrinth system has been applied to some environments-friendly architecture. However, the annual energy efficiency of the system is not exactly known. Therefore, this study aims to analyze the energy efficiency of the thermal labyrinth system applied Ewha Campus Center designed by Dominique Perrault in Seoul, South Korea by field measurement from 01/Aug/2010 to 31/Jul/2011. Dry temperature (°C) and relative humidity (%) of outside and inside thermal labyrinth system as well as the air flow rate(CMH) through thermal labyrinth system were measured and analyzed. Based on the measured data of the system, the energy efficiency of the thermal labyrinth system was evaluated by comparing the pre-heating/pre-cooling and dehumidifying/humidifying rate between Case 1 (with thermal labyrinth, real) and Case 2 (without thermal labyrinth, assumed). Also, the increasing fan power due to applying thermal labyrinth system was analyzed.

## Applicabilité d'un système de vitrage innovant à des immeubles résidentiels (2<sup>e</sup> partie). Evaluation in situ de l'efficacité d'un système d'isolation dynamique appliqué à l'encadrement des fenêtres

D. Kawahara<sup>1</sup>, S. Lee<sup>2</sup>, S. Kato<sup>3</sup>, K. Hiyama<sup>3</sup>, Y. Nomura<sup>4</sup>, Y. Oura<sup>4</sup>, K. Mori<sup>4</sup>, S. Sawaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Department of Architecture, Tokyo University of Science, Tokyo, Japan

<sup>3</sup>Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan

<sup>4</sup>Building Technology R&D Group, Sankyo Tateyama Aluminium, Toyama, Japan

Il est important que les vitres et cadres de fenêtre soient isolés efficacement, car ils constituent généralement la principale source de déperdition de chaleur dans les immeubles résidentiels. Nous avons proposé dans une précédente étude un nouveau système dynamique d'isolation du cadre des fenêtres. L'objectif de cette étude était d'évaluer dans des maisons expérimentales l'efficacité de l'isolation thermique procurée par le système proposé. Nous avons d'abord construit deux maisons expérimentales à Sapporo, au Japon ; l'une d'elles a été équipée de fenêtres classiques à double vitrage et l'autre du système proposé. Ces maisons ont la même forme et bénéficient du même ensoleillement. Puis pour comparer l'étanchéité à l'air et l'efficacité de l'isolement thermique des deux maisons, nous avons mesuré la valeur U des éléments de construction et la surface équivalente de fuites, par diverses méthodes expérimentales (manomètre numérique, fluxmètre thermique, enregistreur de données, testeur de fuites, etc.). De plus, pour vérifier l'efficacité énergétique du système de vitrage, nous avons mesuré la température de surface des vitres, et les résultats de mesure ont été évalués en fonction des températures de l'air extrait. Les résultats montrent une économie d'énergie de près de 18 % pour la maison expérimentale équipée du système proposé par rapport à la maison équipée du vitrage classique. Le système proposé peut donc être considéré comme efficace pour améliorer l'isolation thermique des immeubles résidentiels. Cependant, on a observé un déséquilibre dans la distribution des températures de l'air intérieur, avec le système proposé.

\* \* \* \* \*

## The applicability of an innovative glazing system for residential buildings (Part 2). Field test evaluation of thermal insulation efficiency for a dynamic insulation system applied to window frames

It is important to insulate the glazing or frame of the windows efficiently because they usually contribute the greatest heat loss on residential buildings. To improve this point, we proposed a new dynamic insulation system applied to window frame in previous study. The purpose of this study is to evaluate the thermal insulation efficiency of the proposed system using experimental houses. First, we construct two experimental houses located in Sapporo, Japan, which one is installed a general glazing system with double pane window and the another one is installed the proposed system. These houses have same shape and coordinated with same solar irradiation using putting up wall. Second, to compare the airtightness and thermal insulation efficiency of two experimental houses, we measure the U-value of building elements and the effective leakage area using various experimental applications such as digital manometer, heat flux meter, datalogger, leakage tester, etc. In addition, to verify its energy saving effect on the experimental houses, we measure the surface temperature of the glazing system and the measurement results is evaluated with varying exhaust air temperature of the the experimental houses. The measured results show the experimental house installed the proposed system has about 18% energy saving effect than another one installed a general glazing system. Therefore, the proposed system can be considered an effective glazing system to increase the thermal insulation efficiency on residential buildings. However, it was unfortunately occurred the imbalanced indoor air temperature distribution by using the proposed system.

## Applicabilité d'un système de vitrage innovant à des immeubles résidentiels (3<sup>e</sup> partie). Evaluation de l'isolation thermique et de la condensation de surface dans le cas d'un système d'alimentation en air au niveau des fenêtres

S. Lee<sup>1</sup>, S. Kato<sup>2</sup>, K. Hiyama<sup>2</sup>, D. Kawahara<sup>3</sup>, Y. Nomura<sup>4</sup>, Y. Oura<sup>4</sup>, K. Mori<sup>4</sup>, S. Sawaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture, Tokyo University of Science, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

<sup>3</sup>Graduate School, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

<sup>4</sup>Building Technology R&D Group, Sankyo Tateyama Aluminium, Toyama, Japan

On observe toujours d'importantes déperditions de chaleur et un fort risque de condensation au niveau des vitres et cadres de fenêtres, dont les propriétés isolantes laissent souvent à désirer, et qui sont généralement la principale source de déperdition par conduction thermique dans les immeubles résidentiels. Pour résoudre ces problèmes, nous avons proposé un nouveau système de distribution d'air au niveau des vitrages, combiné à une ventilation mécanique et à un système de pompe à chaleur permettant la récupération de chaleur. L'objectif de l'étude était d'évaluer l'isolation thermique et la probabilité de condensation d'humidité dans le système de vitrages proposé, afin de confirmer la faisabilité et l'applicabilité du système. Les systèmes de vitrage proposés ont tout d'abord été conçus pour qu'une ventilation soit assurée dans la lame d'air d'un double vitrage, diverses solutions étant appliquées : courant d'air descendant, ascendant, film basse émissivité, type de double vitrage, etc. Puis pour vérifier l'efficacité de l'isolation thermique, la distribution de températures a été évaluée par CFD au niveau du vitrage en couplant différentes conditions, en particulier la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur et la température extérieure, après confirmation de l'exactitude des calculs sur un modèle de vitrage. En outre, pour vérifier la probabilité de condensation d'humidité, on a calculé l'humidité relative au sein du vitrage pour différentes conditions. Les résultats obtenus par calcul montrent que la charge thermique est proportionnelle à la température extérieure et inversement proportionnelle à la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur. La condensation dépend de la température extérieure, du taux d'humidité et de la conception du système. Le système proposé est techniquement applicable pour réduire la consommation d'énergie d'un immeuble résidentiel.

\* \* \* \* \*

## The applicability of an innovative glazing system for residential buildings (Part 3). Evaluation of the thermal insulation efficiency and surface condensation of an air supply window system

It still remains heat loss and high risk of moisture condensation occurrence at glass and frame of window because they have relatively poor insulating qualities and usually contribute the greatest heat loss by heat conduction in residential buildings. To solve these problems, this paper proposed a new air supply window system applied to the glass of the window combine with a mechanical ventilation system and a heat-recovery heat pump system. The aim of this paper is to evaluate the thermal insulation efficiency and probability of moisture condensation in the proposed glazing systems in order to confirm its feasibility and applicability. First, the proposed glazing systems are designed to ventilate through the air space of a double pane window by various elements and functions such as up-down air supply, down-up air supply, low-E film, double glazing system, etc. Then, to verify its thermal insulation efficiency, the temperature distribution of the glazing systems was evaluated using computer fluid dynamics with different coupled conditions, such as the indoor/outdoor pressure difference and outdoor temperature, after confirming calculation accuracy using glazing model. In addition, to verify the probability of moisture condensation, the relative humidity in the glazing systems was calculated based on the various conditions. The calculated results show the thermal load was proportional to the outdoor temperature and inversely proportional to the indoor/outdoor pressure difference. Moisture condensation depends on the outdoor temperature, humidity ratio and design type of the proposed system. Therefore, the proposed system is technically feasible to reduce the home energy consumption by installed residential buildings.

## Effet de l'extraction localisée et de l'extraction par la ventilation générale sur le contrôle des émissions

A. Kelsey, R. Batt

Health and Safety Laboratory, Buxton, United Kingdom

De nombreux processus industriels se déroulent à l'intérieur des locaux, et les émissions de polluants doivent être contrôlées pour limiter l'exposition des travailleurs. Le principal objectif de la présente étude était d'utiliser la mécanique des fluides numérique (computational fluid dynamics, CFD) pour analyser le captage d'une émission de polluants dans diverses conditions d'extraction, tant localisée que par la ventilation générale. L'étude était conçue comme la phase initiale d'un projet destiné à améliorer les environnements de travail. La modélisation CFD a été réalisée avec le logiciel STAR-CCM+ (CD-adapco, 2009). Trois dispositifs d'extraction sans collerette de 0,0415 m, 0,083 m et 0,166 m de diamètre ont été étudiés. Les effets des variations de débit d'extraction sur le captage ont été examinés. Des simulations pour des nombres de renouvellement d'air de 0 à 20 par heure ont montré l'influence du captage par le système de ventilation générale sur le captage par les dispositifs d'extraction locale. Le polluant était modélisé sous la forme de particules de masse nulle suivies tout au long du champ d'écoulement, depuis des points d'émission situés à différentes distances du dispositif de captage localisé. Les vitesses axiales prédites pour le captage localisé concordaient bien avec les résultats empiriques. Les résultats de la simulation ont été examinés pour ce qui est de l'efficacité et du temps de captage. Les résultats ont montré que des nombres de renouvellements d'air élevés au niveau de la ventilation générale conduisent à une réduction de l'efficacité du captage localisé. En augmentant le débit de captage localisé, il était possible de contrebalancer cet effet, ce qui pouvait toutefois se traduire par une perte de confort pour les travailleurs, et une consommation d'énergie accrue. Les trajectoires des particules (moyenne d'ensemble) et leurs temps de séjour montraient que, si certaines particules étaient captées rapidement, d'autres avaient un temps de séjour plus long, au cours duquel l'écoulement et, donc, le captage pouvait être perturbé, ce qui comportait un risque d'exposition.

\* \* \* \* \*

## Effect of local and general exhaust ventilation on control of contaminants

Many industrial processes are performed indoors, any release of contaminants from processes must be controlled to limit worker exposure. The main objective of the present study was to use computational fluid dynamics (CFD) to explore the capture of a release of a contaminant under a range of local exhaust ventilation (LEV) and general exhaust ventilation (GEV) conditions. The study was planned as an initial phase of work designed to improve the environmental conditions of workers. CFD modelling was performed using STAR-CCM+ (CD-adapco, 2009). Three unflanged LEV extracts of 0.0415 m, 0.083 m and 0.166 m diameter were studied. Flow rates through the extracts were varied to examine the effect on capture behaviour. Simulations using air change rates from 0 to 20 air changes per hour demonstrated the influence of GEV on the LEV capture behaviour. The contaminant was modelled as massless particles tracked through the flow field from release points at different distances from the LEV. The predicted LEV centreline velocities compared well with empirical results. The simulation results' were examined using capture efficiencies and times. The results showed how high GEV air change rates lead to a reduction in capture efficiency. However, higher LEV flow rates could overcome the effects of the higher air change rates, but with potential loss of comfort for workers and higher energy requirements. Particle tracks (ensemble-averaged) and their corresponding residence times indicated that while some particles were captured rapidly others were resident for extended periods before capture, during which the flow, and hence capture, could be disturbed and exposure could occur.



## Réduction de l'exposition professionnelle aux poussières émises lors des opérations de démantèlement d'écrans

*M. Lecler, Y. Morèle, F.-X. Keller  
INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

Suite à la transposition de la directive européenne 2002/96/CE en droit français par le décret 2005-829, la filière de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) s'est fortement développée en France. Afin de respecter les exigences de valorisation de matières, les entreprises françaises de ce secteur ont mis en place des procédés capables de traiter, dépolluer et séparer les différents matériaux réutilisables en tant que matières premières. Dans ces filières de traitement, de nombreux risques sont présents, et notamment le risque chimique, qui est particulièrement préoccupant. Ce risque est dû à la présence, dans les ambiances de travail, de composés particuliers essentiellement métalliques dont certains sont à l'origine de maladies professionnelles ou possèdent des valeurs limites réglementaires. Les procédés de traitement, qui sont pour la plupart manuels ou semi-automatiques, parfois rudimentaires, exposent les salariés à de fortes concentrations de poussières et à différents polluants émis (plomb). C'est pourquoi, l'objectif de cette étude a été notamment de tester un dispositif de ventilation composé d'un plénum soufflant et d'une aspiration au niveau du poste de travail pour réduire les niveaux d'exposition lors du démantèlement des écrans. Ses performances ont été évaluées pour les poussières totales et les polluants spécifiques tels que le plomb. Les résultats montrent l'intérêt de l'usage de cette technologie pour limiter l'exposition des opérateurs aux composés toxiques émis lors de ces opérations de démantèlement.

\* \* \* \* \*

## Reduction of occupational exposure to dust during screen dismantling

Following the transposition of Directive 2002/96/EC in 2005 by French Decree 2005-829, the treatment of waste electrical and electronic equipment (WEEE) has strongly developed in France. To meet the requirements for the recovery of materials, French companies in this sector have established processes to handle, clean, separate and reuse the different materials as raw materials. In these treatment methods, many risks are present, including in particular, the chemical risk. This risk is due to the presence in the work environment, mainly of particulate metal compounds, some of which cause illness or have regulatory limits. Treatment processes, which are mostly manual or semi-automatic, and at times rudimentary, expose workers to high concentrations of dust and various pollutants (e.g. lead). Therefore, the objective of this study was to test a device composed of a blowing plenum and a suction system at the workplace to reduce exposure levels during the dismantling of screens. Its performance was evaluated for total dust and specific pollutants such as lead. The results show the advantage of using this technology to reduce operator exposure to toxic compounds emitted during decommissioning.

## Optimisation des coûts de la maintenance par l'approche processus

A. Rechiche<sup>1</sup>, D. Boami<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mohammedia School of Engineers, Rabat, Morocco

<sup>2</sup>Head of Management Master in Maintenance and Director of the Mohammedia School of Engineers, Rabat, Morocco

Les industriels cherchent en permanence à être compétitifs en améliorant la qualité du produit ou du service rendu et en rationalisant les budgets alloués à la maintenance et les charges y afférentes. Or, les méthodes de calcul du coût de la maintenance par les entreprises restent le plus souvent classiques et approximatives. La nouvelle norme ISO 9000-V2000 et son approche processus ont favorisé la mise en place de nouvelles méthodes à la fois efficaces et opérationnelles. La présente communication expose l'état de l'art des méthodologies d'identification et d'optimisation des coûts directs et indirects, qui constituent les dépenses afférentes à toute stratégie de maintenance. Elle met en évidence les méthodes de gestion basées sur l'approche processus, telles que recommandées par le référentiel ISO 9000, en particulier l'Activity Based Costing/Activity Based Management et les Unités de Valeur Ajoutée UVA. Une application de ces méthodes au calcul des coûts de maintenance est détaillée et suivie d'une étude comparative visant à déceler leurs points positifs et négatifs.

\* \* \* \* \*

## Optimisation of maintenance costs through a process-driven approach

Manufacturers continuously seek to be competitive by improving the quality of their product or service while streamlining maintenance budgets and expenses. However, companies' methods for calculating maintenance costs are still in most cases classical and approximate. The advent of ISO 9000-V2000 and the process-driven approach have fostered the development of new effective and operational methods. This paper presents the state-of-the-art methodologies for identification and optimization of direct and indirect costs, which represent the cost of any maintenance strategy, and highlights management methods based on the process-driven approach as recommended by ISO 9000, in particular, the activity-based costing / activity-based management and the value added unit (VAU) methods. An application of these methods to calculate maintenance costs is detailed, followed by a comparative study to identify their positive and negative aspects.

## Amélioration de l'environnement thermique et économies d'énergie : performances des cuisines commerciales équipées d'appareils de cuisson à faible émission de rayonnement

H. Sosa<sup>1</sup>, T. Kurabuchi<sup>1</sup>, Y. Toriumi<sup>2</sup>, T. Ogasawara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tokyo University of Science, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Polytechnic University, Kanagawa, Japan

<sup>3</sup>Meisei University, Tokyo, Japan

Dans les cuisines commerciales, l'ambiance thermique et la qualité de l'air peuvent laisser à désirer (température de l'air et température de rayonnement, mauvaises odeurs, humidité). Cela tient à la température superficielle élevée des matériels de cuisson et à l'inefficacité du captage de la chaleur et des contaminants gazeux par les hottes de cuisine. Bien qu'un débit de ventilation élevé puisse améliorer l'ambiance de travail, cette solution est source de coûts énergétiques élevés. Pour résoudre ces problèmes, des systèmes de cuisson à faible émission de rayonnement, pourvus de dispositifs d'extraction, ont été mis au point et sont commercialisés. Dans cette étude, nous avons effectué des mesures in situ de la température de l'air, de la température de globe, de la vitesse d'air et de la concentration de CO<sub>2</sub>, et avons calculé la température radiante moyenne (TRM) et le vote moyen prévisible (VMP). Une enquête par questionnaire a été menée pour mieux cerner la sensation thermique subjective des travailleurs des cuisines. Cette enquête a été menée à trois saisons différentes, et les résultats ont mis en évidence une amélioration significative de l'environnement des cuisines liée à l'introduction d'appareils de cuisson à faible émission de rayonnement. Pour comparer l'impact environnemental non seulement sur le matériel de cuisine, mais aussi sur le débit de ventilation, des mesures ont été faites avant et après le remplacement des équipements, dans des conditions similaires d'utilisation des cuisines. La température de l'air et le VMP étaient significativement abaissés par la mise en place d'équipements à faible émission de rayonnement. Il a été confirmé que plus le débit de ventilation était faible, plus l'impact sur l'environnement était important. Les résultats du questionnaire ont mis en évidence la perception subjective par les salariés de l'amélioration de l'environnement thermique. L'analyse numérique du rayonnement par la « méthode Discret Beam » confirmait l'amélioration de l'environnement thermique des travailleurs, en particulier au niveau de la taille et des cuisses. Les gaz émis étaient efficacement extraits de l'espace de travail grâce à un système d'extraction, et ce pratiquement quel que soit le débit d'air.

\* \* \* \* \*

## Enhanced thermal environment and energy saving performance of a commercial kitchen with low radiation cooking equipment

In commercial kitchens, the indoor thermal and air environment can be quite poor due to high air and radiant temperature, bad smell and moisture vapor. These are caused by high surface temperatures of cooking equipments and low kitchen hood efficiency to capture exhaust heat and gaseous contaminant. Although large ventilation rate can improve kitchen environment, this solution requires additional energy cost. In order to resolve these problems, low radiation cooking equipment system with exhaust vent have been developed and put into market. In this study, we performed in situ measurement in the actual commercial air temperature, globe GLOBE temperature, air velocity and CO<sub>2</sub> concentration and calculated mean radiant t. MRT, predicted mean vote PMV. Questionnaire research was also performed to clarify subjective thermal sensation of kitchen workers. Survey was made in three seasons, and the results showed significant improvement of kitchen environment by introduction of low radiation cooking equipments. In order to compare the environmental impact not only on cooking equipment but also on ventilation rate, measurements before and after replacement of equipments under similar kitchen usage condition. Air temperature and PMV were significantly dropped by introduction of low radiate equipments. It was confirmed that smaller the ventilation rate, greater the difference in resultant environment. Questionnaire results showed worker's subjective feeling on improved thermal environment. Numerical radiation analysis using Discrete Beam Method also confirmed that worker's radiant environment had been improved especially at waist and thigh. Exhaust gas was efficiently removed from occupied space as a result of exhaust vent system almost irrespective of flow rate.

## Valeurs des coefficients de perte de charge au niveau des fentes d'admission

C. E. Figueroa

*Environmental and Occupational Health Laboratory, University of North Alabama, Florence, United States*

Les pertes de charge à l'entrée des hottes sont généralement calculées en multipliant les coefficients de perte de charge indiqués pour les dispositifs par les pressions statiques respectives mesurées au niveau de la section transversale (pour obtenir la pression dynamique). Un dispositif couramment utilisé pour diriger et répartir le flux est un plénum à fentes. Il faut noter qu'il n'a pas encore été publié de valeur précise pour le coefficient de perte de charge de ces fentes, bien que la conception d'un grand nombre de hottes comporte de telles fentes. On trouve dans la littérature des coefficients de perte de charge compris entre 1,3 et 1,8 ou plus. L'ACGIH a indiqué que « le coefficient  $F_s$  pour l'admission par fentes devrait se situer entre 1,00 et 1,78. » Il est évident que ces recommandations de l'ACGIH sont trop grossières pour permettre de prédire avec précision les pertes de charge et les débits d'admission. De plus, l'utilisation systématique d'un coefficient de 1,78 quelles que soient les caractéristiques des fentes (type et épaisseur du matériau, rapport largeur/longueur, rebord arrondi ou angle vif) constitue sans doute une simplification excessive. Les résultats préliminaires obtenus à l'échelle du laboratoire dans un système d'extraction localisée constitué de l'association d'un plénum rectangulaire et d'un convergent ont montré que le coefficient de perte de charge mesuré au niveau de la fente variait en fonction de la largeur de la fente. La conception du plénum utilisé comportait deux panneaux ajustables permettant de faire varier la largeur d'une fente frontale unique tout en maintenant inchangée la longueur de la fente. Le coefficient de perte de charge mesuré se situait entre 1,09 et 1,95 pour des rapports largeur/longueur compris entre 0,133 et 0,067. La poursuite de l'étude permettra d'affiner la technique expérimentale pour obtenir des mesures plus précises de la vitesse et de la pression. Les effets de la largeur de la fente et de la finition des rebords (angle aigu ou arrondi) sur la valeur du coefficient de perte de charge seront étudiés. Les valeurs expérimentales de  $F_s$  seront comparées aux valeurs publiées sur la base de modèles prédictifs.

\* \* \* \* \*

## Slot loss coefficient values

Hood entry losses are customarily calculated by multiplying published loss coefficients of fittings and their respective equivalent pressure head of air velocity (velocity pressure) in the cross section of these fittings. A common fitting used to direct and distribute flow is a slotted plenum. It is noteworthy that a well-defined value of the slot entry loss coefficient has not yet been published despite the widespread use of slots in many hood designs. Slot loss coefficients found in the literature range from 1.3 to 1.8 and above. The ACGIH indicated that "the slot entry coefficient,  $F_s$ , would have a value typically in the range of 1.00 to 1.78." Obviously the range recommended by ACGIH is too crude for accurate predictions of entry losses and flow rate. Furthermore, the pervasive use of the value 1.78 for the slot coefficient regardless of the slot characteristics (material type and thickness, width-to-length ratio, or round/sharp edge conditions) may be an oversimplification. Preliminary results obtained in a laboratory-sized, local exhaust system consisting of a combination of a rectangular plenum and a tapered transition showed that the measured slot loss coefficient varies with slot width. The plenum design used considered two adjustable panels that allowed varying the width of a single frontal slot while maintaining slot length unchanged. The measured slot loss coefficient ranged between 1.09 and 1.95 for slot ratios (width/length) between 0.133 and 0.067. The continuation of this study will refine the experimental technique for more accurate measurements of velocity and pressure. The effects of slot width and edge finishing (sharp / round) on the value of the loss coefficient will be investigated. The  $F_s$  experimental values will be contrasted with published predictive models of slot losses.

## Méthode d'essai des compteurs de particules à l'usage du terrain

A. Jansson

Stockholm University, Stockholm, Sweden

Une méthode simple de test des différentes caractéristiques des instruments de comptage des particules est décrite. L'idée générale est de partir d'une concentration numérique élevée dans un petit volume clos, puis de laisser le débit d'air d'échantillonnage de l'appareil extraire le débit d'air de dilution à travers le volume. On obtient ainsi une large gamme de concentrations ; de plus, la décroissance de la concentration est mise en évidence. Cette méthode peut être utilisée pour comparer les réponses de deux instruments, pour tester la linéarité de la réponse d'un instrument et pour vérifier la limite de coïncidence. Le seul équipement nécessaire est un petit container fermé, quelques tubes et parfois un filtre. Cette méthode est suffisamment simple pour être utilisée sur le terrain.

\* \* \* \* \*

## A practitioner's test of particle counters

A simple way of testing various characteristics of particle counting instruments is described. The general idea is to start with a high number concentration in a small closed volume and then let the sampling flow of the instrument(s) draw a diluting air flow through the volume. In this way a wide range of concentrations are obtained and moreover a defined decline of the concentration will appear. The method can be used for comparing the responses of two instruments, for testing the linearity of the response of an instrument and to check for coincidence. The only equipment needed is a small closed container, some tubing and at times a filter. This method is simple enough to be used under field conditions.

## Evaluation de l'effet d'une intervention électrique sur le rendement de collecte des particules dans une tour de lavage à pulvérisation

M. Bayatian<sup>1</sup>, A. Bahrami<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Islamic Azad University, Tehran Medical Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran

L'une des méthodes actuellement utilisées pour accroître le rendement de collecte des particules dans les laveurs par voie humide est l'utilisation des charges électriques. Cette méthode, utilisable dans les laveurs servant à la collecte des polluants, accroît le rendement de collecte. Conformément aux recommandations de l'ACGIH, une étude pilote a tout d'abord été réalisée sur un système de ventilation conçu et installé à cet effet. Puis l'eau a été chargée au moyen d'un échangeur électrique (DC). Au total, 72 échantillons ont été prélevés pour les deux débits de 20,3 et 11,4 litres par minute. Les échantillons ont été analysés par gravimétrie et l'analyse des données a été réalisée avec le logiciel SPSS. Le rendement de collecte des particules inhalables au débit de 20,3 litres par minute était de 66, 77 et 73 pour cent respectivement en l'absence d'intervention électrique, en cas de charge positive et en cas de charge négative, et de 60, 69,43 et 68,32 pour cent respectivement au débit de 11,4 litres par minute. Pour les particules non inhalables, le rendement était respectivement de 94, 67, 98,33 et 97,67 pour cent au débit de 20,3 litres par minute, et de 91,33, 95 et 97,33 pour cent au débit de 11,4 litres par minute. Les résultats expérimentaux montrent qu'à un certain débit, l'intervention électrique améliore le rendement de collecte des particules inhalables, tout en n'ayant pas d'effet significatif sur la collecte des particules non inhalables. La charge positive a plus d'effet que la charge négative, et l'augmentation du débit d'eau se traduit par une augmentation du rendement de collecte des particules de feldspath inhalables et non inhalables.

\* \* \* \* \*

## Evaluation of electric intervention in the efficiency of particle collection in spray tower scrubbers

One of the modern ways introduced nowadays for the increase of collection efficiency of particulate, is the use of electric charge in wet scrubbers. These systems can be used in places in which scrubbers can be used for pollutant collection. This system increases the collection efficiency. In this regard, according to the ACGIH recommendation, first for pilot study a ventilation system was designed and installed. Later, water was charged by using an electric exchanger (DC). Overall 72 samples in the two flow rates 20.3 and 11.4 liters per minute were taken. Samples analysis according to gravimetric and data analysis using SPSS software was used. The collection efficiency of inhalable particles in the flow rate of 20.3 liter per minute in a non-electric intervention, and electric intervention with positive and negative charge was 66, 77.67 and 73 percent and in the flow rate of 11.4 liters per minute 60, 69.43 and 68.32 percent respectively. For non-inhalable particles the efficiency, in the flow rate 20.3 liters per minute in a non-electric intervention and electric intervention with positive and negative charge, was 94.67, 98.33 and 97.67 percent, and in the flow charge of 11.4 liters per minute the flow rate was 91.33, 95, and 97.33 percent respectively. The results obtained from the experiments, showed that in a certain flow rate, electric intervention increases the efficiency of inhalable particle collection. By the way, this electric intervention has no significant effect on non-inhalable particle collection. Also, the effect of electric intervention with positive charge, is higher than electric intervention with negative charge, and with the increase of water flow rate there is an increase in the collection efficiency of the inhalable and non-inhalable feldspar particles.

## Etude numérique et expérimentale du bon mélange d'un traceur dans un conduit de ventilation

J. Alengry<sup>1</sup>, O. Vauquelin<sup>2</sup>, T. Gélain<sup>1</sup>, L. Ricciardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Gif/Yvette, France

<sup>2</sup>IUSTI (UMR7343), Aix-Marseille Université, Technopôle de Château-Gombert, Marseille, France

La surveillance des rejets gazeux des installations nucléaires dans l'environnement nécessite notamment la réalisation d'essais de traçage particulaire visant à contrôler l'efficacité des filtres équipant le dernier niveau de filtration. Cependant, si la distance entre le point d'injection du traceur dans l'effluent et le point de prélèvement n'est pas suffisante, la concentration du traceur peut être hétérogène dans la section où se situe le point de prélèvement, pouvant ainsi conduire à une erreur sur la détermination de l'efficacité du filtre testé. Très peu de données existent dans la littérature sur cette problématique, y compris dans des normes. En particulier, la norme française NFX 10-141 propose des lois de longueur de bon mélange dans lesquelles certains paramètres ne sont pas clairement explicites, et sans préciser de références. C'est pourquoi un premier travail a consisté à développer un modèle d'évolution de la concentration d'un traceur dans un conduit cylindrique, à partir d'une résolution analytique de l'équation de convection-diffusion d'un scalaire passif injecté en un point source, en considérant en première approche des profils uniformes de vitesse et de viscosité turbulente. Une comparaison avec des données expérimentales (Quarmby et Anand, 1969) a montré que ce modèle a tendance à sous-estimer l'homogénéisation du traceur, en raison des hypothèses faites. Afin d'améliorer et de généraliser ce modèle, des simulations numériques à l'aide d'un code de calcul CFD (ANSYS CFX) seront réalisées et confrontées à des résultats expérimentaux obtenus sur un banc d'essais en cours de montage. Ce banc permettra de mesurer, par le biais d'un diagnostic Laser, l'évolution de la distribution en concentration d'un traceur gazeuxensemencé par des particules dans un conduit cylindrique ou rectangulaire. Plusieurs simulations et campagnes de mesure seront menées afin d'évaluer l'influence de grandeurs physiques sur l'homogénéisation du traceur dans l'écoulement, notamment le nombre de Reynolds, la vitesse d'injection du traceur, sa direction et son implantation dans le conduit. Les premiers résultats expérimentaux et numériques seront présentés.

\* \* \* \* \*

## Numerical and experimental study on the mixing of a tracer in a ventilation duct

Monitoring gaseous releases from nuclear facilities into the environment requires the implementation of particulate tracing tests to measure the efficiency of filters constituting the final filtration level. However, if the distance from the injection of the tracer is insufficient, the tracer concentration can be heterogeneous in the sampling section, leading to an error in the determination of filter efficiency. Very little data exists in the literature on this issue. The French standard NFX 10-141 proposes laws for good mixing length, but some parameters are not explicit and references are not specified. Therefore, the first task was to develop a tracer concentration evolution model in a cylindrical duct, from an analytical solution of the convection-diffusion equation of a passive scalar injected as a source point, considering uniform velocity and eddy viscosity profiles. A comparison with experimental data (Quarmby & Anand, 1969) showed that the model tends to underestimate the homogenisation of the tracer, due to simplifying assumptions. To improve and generalise this model, numerical simulations using a CFD code (ANSYS CFX) will be carried out and compared with experimental results obtained on a test bench currently being set up. This bench will measure, through a Laser diagnostic, the evolution of the concentration distribution of a tracer gas seeded with particles in a cylindrical or rectangular duct. Several simulation and measurement campaigns will be conducted to assess the influence of physical quantities on the homogenisation of the tracer in the flow, including the Reynolds number, the injection rate of the tracer, its direction and its implementation in the duct. The first experimental and numerical results will be presented.



## Etude d'un système de conditionnement d'air hybride utilisant la ventilation naturelle dans un immeuble de bureaux : évaluation de l'environnement thermo-aéraulique intérieur par CFD avec contrôle zonal de la CTA hybride

R. Yasunaga, Y. Shiraishi

The University of Kitakyushu, Kitakyushu, Japan

Ces dernières années, des systèmes de conditionnement d'air hybrides, utilisant la ventilation naturelle, ont été mis en place dans des immeubles de bureau pour optimiser l'environnement thermo-aéraulique à l'intérieur des locaux et limiter le besoin de rafraîchissement. Cependant, l'évaluation quantitative des performances de la ventilation naturelle est difficile, car elle dépend pour une large part des conditions climatiques, de l'emplacement du bâtiment et de son environnement, etc. De plus, la ventilation naturelle crée à l'intérieur des locaux une circulation d'air se traduisant par un environnement thermique hétérogène. L'objet de l'étude est de proposer une méthode d'évaluation de l'environnement thermo-aéraulique dans un immeuble de bureaux équipé d'un système de conditionnement d'air hybride utilisant la ventilation naturelle. Dans un premier temps, une étude CFD est conduite en considérant le bâtiment dans sa globalité, avec un écoulement de l'air intérieur unidirectionnel et en tenant compte de son environnement extérieur (conditions climatiques, immeubles environnants). Puis une analyse CFD de l'espace intérieur est réalisée en prenant comme conditions aux limites les résultats de la simulation couplée (taux de ventilation naturelle, par exemple). Dans cette analyse CFD, le contrôle de la CTA par zone est reproduit en intégrant au logiciel de CFD du commerce un programme spécifique. On présente comme étude de cas illustrant cette méthode une évaluation de l'environnement thermo-aéraulique d'un étage d'un immeuble existant équipé de ce type de CTA hybride. De façon à vérifier la validité du modèle de ce système hybride de conditionnement d'air sont utilisées la ventilation naturelle et la ventilation mécanique. Les résultats montrent que l'environnement thermique intérieur en cas de ventilation naturelle est pratiquement le même qu'en cas de ventilation mécanique. La mise en place d'une ventilation naturelle est cependant, considérée comme une amélioration de la qualité de l'environnement intérieur.

\* \* \* \* \*

## Study of a hybrid air-conditioning system using natural ventilation in an office building: evaluation of indoor thermal and air environment based on CFD analysis with HVAC control for each zone

In recent years, hybrid air conditioning systems using natural ventilation have been introduced in office buildings to realize a good indoor thermal and air environment and the reduction of cooling load. However, it is difficult to quantitatively evaluate the performance of natural ventilation, because it depends heavily on climatic conditions, locations and surrounding buildings etc. Furthermore, natural ventilation causes a draft indoors, which causes the non-uniform thermal environment. The purpose of this study is to propose the evaluation method of indoor thermal and air environment in an office building which has hybrid air-conditioning system using natural ventilation. As the details of this evaluation method, first, the one-way coupled simulation of CFD for outdoor space and thermal and air flow network analysis for the whole building was conducted considering the climatic condition and surrounding buildings. Next, CFD analysis for indoor space was performed using coupled simulation results (for example, natural ventilation rate) as boundary conditions. In this CFD analysis, HVAC control for each zone is reproduced by building an original program in CFD commercial software. In this paper, as the case study using this evaluation method, indoor thermal and air environment was evaluated in detail for one floor of an existing office building which introduced this system. In this analysis, two cases, which have introduced natural ventilation and mechanical ventilation, are analyzed to verify the validity of the hybrid air-conditioning system. The results suggest that, indoor thermal environment of natural ventilation showed the almost same level of mechanical ventilation. On the other hand, it was assumed that indoor air environment was improved by introducing the natural ventilation.

## Etude d'une méthode d'évaluation du chauffage et du refroidissement par un système géothermique : évaluation dynamique des caractéristiques de transfert thermique du puits en été et en hiver à partir d'une analyse CFD

Y. Shiraishi

The University of Kitakyushu, Fukuoka, Japan

Ces dernières années, les systèmes géothermiques, qui introduisent dans l'espace intérieur de l'air neuf pré-refroidi ou préchauffé, ont été adoptés dans les immeubles de bureaux pour réduire les besoins de chauffage de l'air conditionné. Pour évaluer sur un cycle d'une journée environ l'effet de chauffage et de refroidissement résultant du puits, on a procédé en été et en hiver à des simulations numériques instationnaires (CFD), en prenant comme conditions initiales les résultats d'une analyse unidimensionnelle de la conduction thermique verticale dans le sous-sol. Les résultats suivants ont été obtenus : 1) Cette analyse CFD permettait de prédire approximativement la température de sortie de l'air et les performances de chauffage et de refroidissement du système géothermique. 2) C'est la surface du sol dans le puits qui contribuait le plus aux fluctuations de température de l'air de sortie, en été et en hiver. En période diurne estivale, en particulier, du fait de l'écoulement d'air chaud neuf dans la partie supérieure du puits, la contribution de la température de surface du sol était faible. En hiver, les contributions des différents facteurs dans le puits ne variaient guère sur une journée. 3) Le nombre de Nusselt moyenné sur la surface du sol était plus élevé que sur les autres faces du puits. A la surface du sol les nombres de Nusselt locaux sont principalement élevés dans les régions d'accélération et d'impaction d'air. 4) L'humidité relative dans le puits était élevée en été, et la différence entre l'air de sortie et d'entrée était faible de minuit aux heures de la matinée. Durant la journée, la différence était de l'ordre de 7,5 à 8 %. Le phénomène de condensation n'a pas été détecté dans ces conditions d'analyse.

\* \* \* \* \*

## Study of the evaluation method of the cooling and heating effect of an underground pit system: dynamic evaluation of heat transfer characteristics in an underground pit in summer and winter based on CFD analysis

In recent years, underground pit systems which introduce the pre-cooled or pre-heated fresh air to indoor space through the pit, have been adopted in office buildings to reduce the air-conditioning heat load. In this study, in order to evaluate cooling and heating effect of the underground pit system for about 1-day cycle, unsteady CFD simulations for an office building in summer and winter were carried out using the results of one dimensional heat conduction analysis for underground in vertical direction as initial condition. The following results were obtained: 1) Outlet air temperature, cooling and heating performance of the underground pit system were predicted approximately in this CFD analysis. 2) The contribution ratio to outlet air temperature fluctuation of floor surface in the pit was the largest in summer and winter. Especially in summer daytime, since warm fresh air flowed along with the upper part of the pit, the contribution ratio of floor surface became small. In winter, contribution ratios in the pit hardly changed all day long. 3) Mean Nusselt number on floor surface was higher than other surfaces in the pit. In floor surface, local Nusselt numbers on air flow impingement and acceleration regions became large especially. 4) The relative humidity in the pit of summer was high and the difference between outlet and inlet air was small from midnight to morning. During daytime, the difference became about 7.5-8.0%. The dew condensation did not occur on these analysis conditions.

## **Etude d'un système de conditionnement d'air hybride utilisant la ventilation naturelle avec contrôle des flux d'air neuf et d'air extrait dans un immeuble de bureaux – Evaluation du taux de ventilation naturelle par mesurage sur le terrain et par simulation numérique au moment de la mise en service du système**

*T. Suezaki, Y. Shiraishi*  
*The University of Kitakyushu, Kitakyushu, Japan*

Cette étude avait pour objet la conception d'une méthode d'évaluation des économies d'énergie réalisables dans le cas des systèmes de conditionnement d'air hybrides utilisant la ventilation naturelle avec contrôle des flux d'air neuf et d'air extrait dans un immeuble de bureaux. On présentera ici la première étape de l'étude, à savoir le modèle de calcul du taux de ventilation naturelle avec contrôle des flux d'air neuf et d'air extrait, par analyse thermique et aéraulique du réseau. La justesse du modèle a été vérifiée par comparaison avec les mesures réalisées lors d'une phase d'interruption du système de conditionnement d'air dans un immeuble de bureaux de Kitakyushu, au Japon. De plus, l'incidence de la fonction anti-retour au niveau des sorties d'air sur le taux de ventilation naturelle ainsi que la contribution de la convection et de la force du vent à la ventilation naturelle ont été clarifiées par une étude de cas utilisant ce modèle de calcul. Les résultats suivants ont été obtenus : 1) Le taux de ventilation naturelle était évalué avec une exactitude suffisante par le modèle de calcul proposé. 2) La comparaison avec la valeur indicative pour le débit de ventilation montrait qu'une ventilation suffisante était assurée par ce système de ventilation naturelle. 3) Le taux de ventilation naturelle augmente de près de 20 % par la mise en œuvre de dispositifs anti-retour au niveau des sorties d'air. 4) La convection liée aux charges thermiques internes contribue pleinement à la ventilation, particulièrement en conditions non turbulentes.

\* \* \* \* \*

## **Study of a hybrid air-conditioning system using natural ventilation in an office building with flow control inlets and outlets - Evaluation of natural ventilation rate by means of field measurement and numerical simulation in the break-in stage of air conditioning**

The purpose of this study is to develop the evaluation method of energy-saving effect about hybrid air-conditioning system using natural ventilation in an office building with flow control inlets and outlets. In this paper, as a first step of this study, the calculation model of natural ventilation rate with flow control inlets and outlets was proposed based on thermal and air flow network analysis, and the prediction accuracy of this model was verified by comparison with the field measurement in break-in stage of air-conditioning for an existing office building at the city of Kitakyushu in Japan. Moreover, the influence of backflow prevention function at outlets on natural ventilation rate, and contribution to the natural ventilation rate of buoyancy and wind force were clarified by means of the case study using this calculation model. The following results were obtained: 1) The natural ventilation rate was evaluated with sufficient prediction accuracy using proposed calculation model. 2) As compared with the indicator value of the ventilation rate, sufficient amount of ventilation was secured by this natural ventilation system. 3) The natural ventilation rate increase about 20% by introducing the backflow prevention function at outlets. 4) Buoyancy force based on internal heat load has fully contributed as ventilation driving force, the contribution rate especially becomes large under calm conditions.

## Risques pour la santé liés aux nanoparticules industrielles et réduction des risques par un système de ventilation adapté

A. Sattari<sup>1</sup>, E. Ahmadi Moghaddam<sup>2</sup>, M. Sandberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Gävle, Dept. of Building, Energy and Environmental Eng., Gävle, Sweden

<sup>2</sup>Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Technique and Energy, Uppsala, Sweden

Produites par un très grand nombre de processus industriels, les nanoparticules (NP) industrielles sont notamment présentes dans des produits de combustion tels que les suies diesel, les fumées de soudage, le noir de carbone ou encore les cendres volantes de charbon. Compte tenu des risques que présentent ces NP pour la santé et l'environnement, il est essentiel de traiter de façon appropriée les NP d'origine industrielle. La réduction à l'échelle nanométrique de la granulométrie d'un matériau en modifie les propriétés, ou fait apparaître de nouvelles propriétés, par divers mécanismes : taille des particules devenant proche des longueurs physiques caractéristiques pour ces propriétés, augmentation de la proportion de défauts d'interface et impact sur les propriétés liées à ces défauts, prédominance de forces électromagnétiques en fonction de Morse, ou effets quantiques qui impactent tant les propriétés électroniques que les influences cohésives des forces gravitationnelles. Compte tenu de ces éléments, les incertitudes sont nombreuses quant aux effets et aux risques pour la santé des nanomatériaux, et les connaissances sur les nanomatériaux manufacturés et leur impact à court et long terme sur le vivant et la santé humaine demeurent insuffisantes. De nombreuses données ont montré, ces dernières années, que les NP peuvent être très toxiques par inhalation et présentent des risques considérables, parfois mortels, pour la santé : complications de l'asthme, bronchite chronique, infections respiratoires, cardiopathies ischémiques et AVC, par exemple. Une mesure efficace pour lutter contre ces risques pour la santé au travail est de réduire la concentration de NP par un système de ventilation industrielle adapté. Dans cette étude, une revue des données scientifiques disponibles dans le domaine des risques pour la santé liés aux NP sera présentée et analysée sous l'angle de la ventilation des lieux de travail dans l'industrie.

\* \* \* \* \*

## Health risks related to industrial nanoparticles and risk reduction through a suitable industrial ventilation system

Industrial nanoparticles (NPs) are fast-growing NPs produced in a wide range of industrial production and manufacturing processes such as combustion-derived NPs from diesel soot, welding fume, carbon black and coal fly ash. Due to the high risk of such NPs for human health and their environmental risks, it is essential to treat the industrial-produced NPs in a proper manner. Decreasing the grain size of a material to nano limits results in the appearance of either new or changed properties of the material due to approaching the size of the characteristic physical lengths of the relevant properties, increased proportion of interface defects and their impact on dependent properties, and overcoming of Morse function-shaped electromagnetic forces and the quantum effects which come from electronic properties to the cohesive influences of gravitational forces. All of the above indicate the great uncertainties about nanomaterials effects on health and their related risks, the relatively low amount of information we currently know about engineered nanomaterials, and their relatively unknown short-term and long-term impacts on biota and human health. There is great evidence over the past few years that NPs in the breathing air are strong toxins and cause considerable health risks including mortality, asthma complications, chronic bronchitis, respiratory tract infections, ischaemic heart diseases, and stroke. One good measure to combat mentioned health problems in work places is to decrease the concentration of NPs through a decent industrial ventilation system. In this study, the available research in the field of health risks of NPs will be reviewed and will be analyzed with an industrial work place ventilation perspective.

## VISION'AIR - Contrôle de la pollution intérieure dans les cabines de peinture et des émissions de Composés Organiques Volatils (COV) dans l'Environnement

S. Cardo

VISION'AIR, Marseille, France

Spécialiste de l'environnement Cabines de Peinture, AIR INNOVEO propose un système éco-énergétique breveté de supervision et d'optimisation de la ventilation : le NOVEO AIR. Le NOVEO AIR permet de répondre aux objectifs de performance, de rentabilité et de maîtrise des impacts de l'activité peinture sur les opérateurs, l'environnement et les ressources énergétiques. Le NOVEO AIR est un variateur d'évacuation d'air intelligent pour cabines de peinture. Aujourd'hui, 60 à 70 % de l'énergie utilisée pour les opérations de ventilation des cabines de peinture sont consommés hors opérations de peinture. Mesurer et expertiser de manière sûre devient indispensable pour agir efficacement et durablement : la maîtrise de ces informations se traduit par un ajustement de la ventilation aux besoins de la production (préparation des pièces, marouflage, dessolvation). Le NOVEO AIR veille, mesure et analyse en temps réel, cible et réagit instantanément aux variations de concentration, corrige progressivement et simultanément les paramètres pertinents, maintient qualité et température de l'air de manière optimale et constante • Sécurité : détection immédiate des niveaux de COV - Qualité de l'air, protection de la santé et garantie de sécurité des opérateurs • Technologie propre : gestion rationnelle du besoin en énergie (volume d'air traité), réduction des émissions de gaz à effet de serre • Ergonomie : programmation et autonomie en fonction des besoins individuels/cabine déclenchement et arrêt au pistolet, flux d'air frais constant à température de la cabine, réduction du niveau de bruit dans les aires de pulvérisation • Simplicité d'installation et d'utilisation : prêt-à-poser dans tout type de cabines de peinture, maintenance réduite • Performance : ventilation à la demande et conformité constante aux normes, suppression de l'évacuation inutile et du remplacement inutile d'air chauffé ou climatisé • Économie : réduction des coûts d'énergie jusqu'à 70 % : chauffage, climatisation, force motrice, réduction coûts d'exploitation : équipements et consommables liés au traitement des émissions canalisées.

\* \* \* \* \*

## VISION'AIR - Air quality control inside painting booths and VOC emissions regulation

Energy-efficient and environment-friendly AIR INNOVEO offers a patented eco-energy system for supervision and optimization of ventilation: NOVEO AIR. NOVEO AIR meets the goals of performance, profitability and control of the impacts of the painting activity on operators, the environment and energy resources. NOVEO AIR is a variable-speed air exhaust controller for paint booths. Today, 60 to 70% of the energy used for ventilation of paint booths is consumed outside of painting operations. Measuring and assessing is therefore essential in order to act effectively and sustainably: control of information results in the adjustment of ventilation to fit production needs (preparation of parts, roller pressing, desolvation). NOVEO AIR monitors, measures and analyses, targets and responds instantly to changes in concentration, corrects gradually and simultaneously the relevant parameters, constantly maintaining optimum air quality and temperature • Safety: Immediate detection of the VOC levels, Protection of operators' health and safety • Clean technology: Rational management of energy needs, Reduction of greenhouse gas emissions • Ergonomics: Programming and autonomy according to individual/cabin needs, Start and stop with spray gun, Constant fresh airflow at booth temperature, Reduction of noise in spray areas • Ready for use: Compatible with any type of paint booths • Performance: Ventilation on demand and constant conformity to standards, Elimination of any unnecessary evacuation and replacement of heated or air-conditioned airflow • Savings: reduction of energy costs by up to 70%: heating, air conditioning, driving force, Reduction of operating costs: equipment and consumables for the treatment of channeled emissions.

## Conditionnement de l'air dans les grands locaux par des multijets turbulents tourbillonnaires

M. Roudane<sup>1</sup>, L. Loukarfi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University Saad Dahleb, Blida, Algérie

<sup>2</sup>University Hassiba benbouali, Chlef, Algérie

Pour utiliser le jet tourbillonnaire dans la ventilation (climatisation et chauffage) des locaux de grande hauteur, la connaissance des caractéristiques thermiques s'avère plus que nécessaire. C'est dans ce but que cette étude expérimentale a été réalisée. Pour mener cette étude, nous avons conçu et réalisé une installation expérimentale devant assurer de bonnes conditions de fonctionnement, dans laquelle nous avons placé un souffleur comportant des ailettes orientables avec un fort taux de tourbillonnement. Un jet tourbillonnaire simple et multiple est généré par un diffuseur à pales orientables dans une maquette en plexiglas. Le champ de température est exploré grâce à des sondes thermiques supportées par des tiges facilement guidées verticalement et horizontalement pour pouvoir balayer le maximum d'espace, ce qui nous a permis de prendre les mesures des températures en différents points dans les directions axiale et radiale. Nous avons pu étudier expérimentalement la distribution des températures axiales et radiales pour différentes configurations de jet, à savoir le jet tourbillonnaire simple confiné et le jet multiple confiné.

\* \* \* \* \*

## Climate control in high-rise buildings by swirling turbulent multijet

To use swirling jets in the ventilation systems (air conditioning and heating) of high-rise buildings, knowledge about thermal characteristics is more than necessary. It is with this in mind that this experimental study was carried out. To conduct this study, we designed and built an experimental facility to ensure good operating conditions in which we placed a blower with adjustable fins with a high swirl rate. We were able to experimentally study the distribution of axial and radial temperatures for different configurations of the jet stream, i.e. single confined swirling jet and confined multiple jet.

## Influence d'ouvertures multiples interconnectées, dans une cheminée de ventilation, sur la ventilation induite par tirage sur une période d'un an

A. Nagory<sup>1</sup>, P. Simmonds<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Southern California, Los Angeles, USA

<sup>2</sup>IBE Consulting Engineers, Los Angeles, USA

Dans toute l'histoire de l'architecture vernaculaire, on s'est appuyé sur les mécanismes de ventilation naturelle pour assurer le confort thermique des occupants. Diverses techniques de ventilation sont ainsi apparues au fil du temps ; elles sont le fruit de très nombreuses recherches sur les interactions entre les caractéristiques des bâtiments et les mécanismes de ventilation naturelle. Une cheminée d'aération a été conçue comme une combinaison des tours à vent et des cheminées solaires, qui ont aussi des fonctions de circulation et des fonctions mécaniques dans la construction des bâtiments. La conception de cheminées de ventilation reste une entreprise audacieuse, compte tenu du volume qu'elles occupent et de leur empreinte architecturale dominante dans la conception d'ensemble d'un bâtiment. Les cheminées de ventilation reposent principalement sur les différences de pression induites par les différences de température entre l'air intérieur et l'air extérieur. La pression induite par le vent dépend de la conception de la cheminée. Dans le cas d'une ventilation induite par un effet de tirage, c'est le niveau du plan de pression neutre dans le gradient de pression qui détermine les régimes d'écoulement de l'air et les débits d'air. Conformément au principe de Bernoulli, le plan de pression neutre dépend des différences de hauteur entre les bouches d'aération régulant la masse d'air entrant et sortant du bâtiment. Les ouvertures déterminent donc le régime global d'écoulement de l'air dans les espaces habitables desservis par la cheminée. En partant d'inférences issues d'études du tirage sur divers modèles, la conception des cheminées a été reconfigurée par simulation numérique avec le logiciel CONTAM. La démarche a été influencée par la conception des tours à vent traditionnelles en Iran, l'accent étant mis sur la réorganisation des ouvertures dans la cheminée. Par une série d'ouvertures interconnectées, la ventilation induite par tirage peut être rendue efficace sur une période de temps plus longue. Cela permet en outre de réduire le volume de la cheminée, et donc son impact architectural sur la masse du bâtiment.



## Influence of multiple inter-connected openings in a ventilation shaft on stack induced ventilation over a year

Throughout the history of vernacular building construction, Architects relied on natural ventilation mechanisms for thermal comfort of the occupant. As a result various ventilation elements have developed through time, based on extensive research about interactions between building characteristics and natural ventilation mechanisms. A ventilation shafts developed as a combination of wind catchers and solar chimneys which also serve for circulation and building mechanical functions in buildings. The design of ventilation shafts still remains bold involving large volumes creating a dominant architectural feature in the overall design. Ventilation shafts primarily rely on pressure differences induced due to thermal differences between the inside and outside air. Wind induced pressure remains relative depending on the shaft design. For stack induced ventilation the neutral pressure plane level in the pressure gradient determines the air flow patterns and air flow rates. As per results and in accordance to the Bernoulli's principle, neutral pressure plane depends on height differences between inlets and outlets regulating the mass of air entering and leaving the building. Thus, openings determine the overall air flow pattern across the stacked habitable spaces. Based on inferences from stack studies on multiple models by the numerical and the computational technique using CONTAM, design of shafts has been reconfigured. This design has been influenced by the design of traditional wind catchers of Iran, and focuses on the reorganization of openings in shafts. Through multiple inter connected openings the stack induced ventilation can be made effective for a longer time period. This also assists in reducing the shaft volume, decreasing its architectural impact on building mass.



## Détection du formaldéhyde par colorimétrie : utilisation d'un capteur pour le mesurage de la qualité de l'air intérieur et d'un détecteur de pollution pour les habitations

E. Chevallier<sup>1</sup>, T. Caron<sup>1</sup>, C. Belon<sup>1</sup>, P. Karpe<sup>1</sup>, T.-H. Tran-Thi<sup>3</sup>, S. Colomb<sup>2</sup>, Y. Bigay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ETHERA, CEA-Saclay, Gif/Yvette, France

<sup>2</sup>ETHERA, Grenoble, France

<sup>3</sup>Francis Perrin Lab., Gif/Yvette, France

Une prise de conscience grandissante concernant la qualité de l'air et son impact potentiel sur la santé ont généré un intérêt pour le formaldéhyde, substance cancérigène pour les humains. En raison de ses nombreuses sources d'émission (contreplaqué, mousse d'isolation, cosmétiques), le CH<sub>2</sub>O est un polluant omniprésent dans l'air intérieur ; les concentrations peuvent varier de quelques ppb à plus de 100 ppb dans les habitations. La plupart des humains passant 80 à 85 % de leur temps à l'intérieur, l'Agence nationale de sécurité sanitaire recommande de ne pas être exposé à plus de 8 ppb au cours d'une vie entière. Pour évaluer la concentration, plusieurs méthodes sont disponibles dans le commerce, mais ces méthodes présentent plusieurs inconvénients (prélèvements difficiles, mise œuvre lourde, coût élevé). Les présents travaux traitent de la détection du formaldéhyde avec des méthodes novatrices permettant une haute sélectivité, sensibilité, simplicité et un faible coût. Le capteur proposé ici est un xérogel hybride fonctionnalisé avec du Fluoral-P, qui réagit sélectivement avec le formaldéhyde pour produire de la 3,5-diacetyl-1,4-dihydro lutidine (DDL). La détection du formaldéhyde est basée sur la mesure, de façon visible, par l'absorbance de DDL, dont la formation est proportionnelle à la concentration de formaldéhyde. Nous allons montrer que le xérogel hybride agit comme une éponge pour piéger et concentrer le formaldéhyde. Pour surveiller la qualité de l'air intérieur, le capteur peut être utilisé en mode actif ou passif. Les résultats préliminaires des campagnes de mesures du formaldéhyde dans les écoles françaises, avec la méthode de référence [cartouches contenant de la 2,4-dinitrophénylhydrazine (DNPH) comme réactif de dérivatisation, nécessitant une analyse en laboratoire (HPLC, UV)] et la méthode actuelle seront exposés et comparés. Avec cette méthode, une mesure directe de la concentration de formaldéhyde peut être réalisée.

\* \* \* \* \*

## Colorimetric detection of formaldehyde: a sensor for air quality measurements and a pollution-warning kit for homes

Increased awareness of the importance of indoor air quality and its potential impact on human health has stimulated an interest in formaldehyde, which is carcinogenic to humans. Because of its numerous emission sources (plywood, isolation foam, cosmetics), CH<sub>2</sub>O is an omnipresent indoor pollutant whose concentrations can vary from a few ppb to more than 100ppb in homes. As most humans spend 80 to 85% of their time indoors, the Agency for Toxic Substance and Disease Registry recommends that exposure must not exceed 8ppb over a whole lifetime. To evaluate this concentration, a few methods are commercially available. However, these methods have several drawbacks in terms of simplicity of the sampling, heavy maintenance or high cost. The present work addresses the detection of formaldehyde with innovative strategies allowing high selectivity, sensitivity, simplicity and low cost. The sensor proposed is a hybrid xerogel functionalised with Fluoral-P, an enamione, which reacts selectively with formaldehyde to produce the 3,5-diacetyl-1,4-dihydro lutidine (DDL). The detection is based on measuring , in the visible domain, absorption of DDL, whose formation rate is proportional to the concentration of formaldehyde. We will show that the hybrid xerogel acts as a sponge to trap and concentrate formaldehyde. The sensor can be used either in active or passive modes to monitor the air quality in homes. Preliminary results of campaigns to measure formaldehyde in French schools, with the reference method (cartridges containing the 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) as a derivatization reagent, requiring laboratory analysis (HPLC&UV)) and the present method will be shown and compared. With this method, a direct measurement of the formaldehyde concentration can be achieved.

## Étude du dépôt d'aérosols sur filtre plissé par tomographie d'émission monophotonique et simulations numériques

*N. Bardin-Monnier<sup>1</sup>, P.C. Gervais<sup>1</sup>, S. Poussier<sup>2</sup>, G. Karcher<sup>2</sup>, D. Thomas<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*CNRS, LRGP, Nancy, France*

<sup>2</sup>*CHU Nancy, NanCycloTEP, Département de Médecine Nucléaire, Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

\* \* \* \* \*

## Study of aerosol deposit in pleated filter via single-photon emission computed tomography and numerical simulations

Pleated filters are widely used for many industrial applications in air treatment due to their high effective surface area and low overall dimension. Nevertheless, their lifetime still needs to be controlled. It is crucial to characterise the different steps of the change in pressure drop (depth filtration, cake filtration and surface decrease). On the one hand, the visualisation of aerosol deposit at the beginning of the cake filtration process allows for the observation of preferential particle deposition along the entire height of the pleat. To keep the particle deposit structuring intact, a non-destructive method is used. On the other hand, numerical simulations contribute to the study of the depth filtration step. The combination of these two methods appears to be a quite promising approach to reach a deep understanding of the pleated filters clogging.

## Ventilation de l'atelier de chauffe d'une entreprise spécialisée dans la fabrication de tonneaux en bois à utilisation vinicole

Y. Caromel, D. Pilgram

CARSAT Nord Est, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

Des mesures d'exposition professionnelle réalisées dans l'atelier de chauffe d'une entreprise spécialisée dans la fabrication de tonneaux en bois à utilisation vinicole ont révélé des expositions en HAP et CO très élevées. Une étude a été menée afin d'évaluer l'efficacité de la ventilation générale de l'atelier de chauffe et de proposer des pistes d'amélioration.

La première étape d'évaluation de l'installation de ventilation existante a mis en évidence une diffusion des fumées dans tout l'atelier et l'absence d'une stratification thermique (thermocline).

Une solution technique basée sur la ventilation par déplacement (diffusion d'air neuf par caniveaux et extracteurs en toiture - vitesse de soufflage de l'ordre de 0,5 m/s sur toute la surface de diffusion - débit de ventilation de 60 000 m<sup>3</sup>/h minimum) a été élaborée par simulation numérique et proposée à l'entreprise.

L'évaluation du système de ventilation après réalisation des travaux montre l'adéquation entre les résultats obtenus par simulation et ceux obtenus par mesurage.

L'objectif de maintenir les opérateurs en permanence dans un air salubre et de confiner les polluants sous la toiture de l'atelier avant d'être extraits est atteint. Cette nouvelle installation de ventilation réduit le risque d'inhalation de polluants toxiques et améliore nettement les conditions de travail des salariés.

\* \* \* \* \*

## Ventilation in the toasting workshop of a wooden wine barrel manufacturer

Occupational exposure measurements conducted in the toasting workshop of a wooden wine barrel manufacturer revealed very high exposure to PAHs and CO. A study was carried out to evaluate the effectiveness of the general ventilation of the workshop and propose solutions for its improvement.

The first stage in the evaluation of the existing ventilation system showed the diffusion of smoke throughout the workshop and the lack of thermal stratification (thermocline).

A technical solution based on displacement ventilation (diffusion of fresh air by air inlets at floor level and extraction at ceiling level – air supply velocity approximately 0.5 m/s over the entire air supply area - ventilation flow of at least 60,000 m<sup>3</sup>/h) was developed by digital simulation and proposed to the company.

The evaluation of the ventilation system after the work was conducted showed agreement between the results obtained by simulation and those obtained by measurement.

The goal of constantly keeping operators' breathing air clean and containing pollutants under the workshop ceiling before extraction is achieved. This new ventilation system reduces the risk of inhaling toxic pollutants and significantly improves employees' working conditions.

## Prévention des risques d'asphyxie : rôle déterminant de la ventilation

L. Hervé

Sanofi, Vitry, France

De très nombreuses industries utilisent des gaz asphyxiants. Ces gaz peuvent rapidement se substituer à l'oxygène de l'air et rendre l'atmosphère irrespirable. Cette présentation a pour but de donner un outil simple de calcul permettant rapidement de faire des évaluations des risques en fonction de certaines données d'entrée (nature du gaz ou du liquide cryogénique, pression de distribution, diamètre des canalisations, taux de renouvellement horaire...) et cela pour des fuites sur des canalisations, des fuites à partir de bouteilles de gaz comprimés, de cryofluides... Elle permettra également de définir des règles de sécurité et de prévention simples ainsi que de proposer des règles de protection. De nombreux accidents ou presque accidents aux conséquences graves surviennent encore aujourd'hui.

\* \* \* \* \*

## Prevention of asphyxia risks: the key role of ventilation

Many industries use asphyxiant gases. These gases can quickly replace the oxygen in the air and make the air unbreathable. This presentation aims to provide a simple tool for quick calculation to conduct risk assessments based on certain input data (type of gas or cryogenic liquid, distribution pressure, diameter of pipes, ventilation, etc.) for leaks in pipes, leaks from compressed gas cylinders and from cryofluids. It will also define safety and prevention rules and propose simple rules for protection. Today, many accidents or near accidents still occur with serious consequences.

## Conception aéraulique

T. Morand

CLIMA PLUS, Saulx Les Chartreux, France

Dans le cadre de la 10e Conférence internationale sur la ventilation industrielle, nous vous proposons de faire une présentation de la conception aéraulique du laboratoire P4 de Chine. Grâce à son savoir-faire et ses solutions innovantes, CLIMA PLUS a pu concevoir et réaliser des projets tels que : • Le premier laboratoire de fièvre aphteuse agréé par une commission d'experts européens • L'un des premiers laboratoires agréés par la Commission du Génie Génétique suivant le décret du 27 mars 1993 sur les O.G.M. • La conception technique du laboratoire P4 de Lyon • La conception technique du laboratoire P4 de Wuhan en Chine. CLIMA PLUS conçoit le seul et unique laboratoire P4 en France (laboratoire pour la manipulation de micro-organismes de classe 4). Le laboratoire P4 « Jean Mérieux » est un centre d'études et de recherches classé NSB4 : il répond au double impératif de préserver les chercheurs contre tous les risques d'infections et d'assurer une protection totale de l'environnement. Ce laboratoire répond aux normes internationales de sûreté biologique et permet à des équipes internationales de chercheurs de travailler sur des agents pathogènes peu connus et dangereux. Il est unique en France. Actuellement CLIMA PLUS conçoit un laboratoire P4 en Chine (laboratoire pour la manipulation de micro-organismes de type 4), (2 400 m<sup>2</sup> dont 400 m<sup>2</sup> de zone confinée) pour l'Institut de Virologie de Wuhan.

\* \* \* \* \*

## HVAC Design

In the context of the 10th International Conference on Industrial Ventilation, we will present the HVAC design of the P4 laboratory in China. Its knowhow combined with innovative solutions have enabled Climaplus to design and conduct projects such as: • The first foot-and-mouth disease laboratory certified by a commission of European experts. • One of the first laboratories certified by the Genetic Engineering Commission complying with the decree on GMOs of 27 March 1993. • The technical design of the P4 laboratory (France). • The technical design of the P4 laboratory in Wuhan (China). 1) Climaplus designed the first and only P4 laboratory in France (laboratory for the manipulation of type 4 micro-organisms). The "Jean Merieux" P4 laboratory is a research and study center which is classed NSB4. It safeguards researchers against all risks of infection and ensures complete protection of the environment. This laboratory meets international standards on biological security and allows international research teams to work on pathogens that are not well studied and can be dangerous. This laboratory is unique in France. 2) Climaplus is currently designing a P4 laboratory in China (laboratory for the manipulation of type 4 micro-organisms, 2400 m<sup>2</sup> including a confined area of 400 m<sup>2</sup>) for the Wuhan Institute of Virology.

## Etude expérimentale et numérique des distributions de températures et de concentrations de contaminants dans une chambre d'hôpital à quatre lits ventilée par déplacement d'air

*T. Yamanaka, K. Sagara, H. Kotani, Y. Momoi, T. Inagaki, M. Shinozaki  
Osaka University, Osaka, Japan*

Dans les chambres de patients se pose toujours le problème des odeurs provenant des patients ou des couches. La ventilation par déplacement d'air est considérée comme adaptée pour maintenir une qualité de l'air satisfaisante dans les chambres d'hôpital. Dans une précédente étude, nous avons établi les distributions de températures et de concentrations de contaminants dans une chambre à un lit, et avons construit un modèle zonal permettant de prédire les profils verticaux de températures et de concentrations de contaminants. Cependant, la chambre d'hôpital réelle comporte habituellement plus de quatre lits et il faut tenir compte de la contamination d'un lit à l'autre. La distribution verticale et horizontale des températures et des concentrations de contaminants a été mesurée en grandeur réelle dans une chambre à quatre lits par la méthode du gaz traceur, et les écoulements dans la pièce ont été analysés par CFD, à l'aide du modèle standard K-epsilon. Les paramètres expérimentaux sont le débit d'air neuf et l'existence de rideaux autour d'un lit. Le modèle zonal précédemment présenté par les auteurs a été appliqué à la prédiction des profils verticaux de concentrations de contaminants. On constate qu'outre le débit d'air neuf, les paramètres importants sont notamment la température de paroi, les ouvertures plus ou moins grandes entre les rideaux et l'emplacement des orifices d'extraction. En effet, lorsque la température des parois est élevée, cela se traduit par une stagnation des contaminants en suspension émis par les patients, et l'espace libre entre les rideaux et le sol ou le plafond détermine la résistance à l'écoulement du flux d'air dans la zone délimitée par les rideaux. L'emplacement des orifices d'extraction, en particulier, est un facteur important pour limiter la zone contaminée. Il est apparu que le modèle zonal est également adapté pour la prédiction de la hauteur de stagnation des contaminants dans une chambre à quatre lits.

\* \* \* \* \*

## Experimental and numerical study of temperature and contaminant concentration distributions in four-bed sickroom with displacement ventilation

In sickrooms, there is always the odor problem from patients or diapers. The displacement ventilation is considered to be valid for maintaining proper indoor air quality in sickrooms. In our previous study, the temperature and contaminant concentration distributions in the sickroom with one bed were figured out and the zonal model was constructed to predict the vertical profiles of temperature and contaminant concentrations. The actual sickroom, however, has usually more than four beds, and the inter-bed contamination have to be taken into account. In this paper, the vertical and horizontal distribution of temperature and contaminant concentration in full-scaled sickroom with four beds inside were measured by means of tracer gas method, and the flow patterns in the room were analyzed by CFD using standard K-epsilon model. Experimental parameters are supply airflow rate and existence of curtains around a bed. Also the zonal model presented by the authors previously was applied to the prediction of vertical profiles of contaminant concentration. As a result, wall temperature, lower and higher gaps of the curtains, position of exhaust opening are important parameters other than supply airflow rate. Because the higher wall temperatures bring the stagnation of buoyant contaminant emitted by patients, and gaps between curtain and floor or ceiling determine the flow resistance of the airflow in the area surrounded by curtains. Especially, the position of exhaust openings is important factor to control the contaminated area. In addition, it was turned out that the zonal model is also valid for the prediction of stagnation height of contaminant in four-bed sickroom.

## Étude sur prototype d'un système de ventilation hybride de nouvelle génération

J. Lee

Samsung C&T Corp., Seoul, Republic of Korea

Le contrôle quantitatif de la ventilation naturelle est au cœur des systèmes de ventilation hybride. Cette technique signifie que le taux de ventilation naturelle doit être maintenu dans un domaine bien spécifique et que l'air ventilé doit circuler sans encombre en tous points d'un bâtiment. Cette étude propose un prototype de système de ventilation hybride de nouvelle génération. Ce système utilise la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur comme moteur de la ventilation naturelle. En effet, il existe toujours une différence de température, et cette différence de température est prévisible. Les installations de ventilation classiques peuvent être adaptées pour tirer parti de cette énergie prévisible. Dans le système de ventilation hybride, l'air entre et sort par des conduits; les poussées d'air dans les conduits verticaux sont contrôlées afin d'obtenir suffisamment d'énergie pour la ventilation. Les conduits permettent l'apport d'air neuf et l'évacuation de l'air vicié à tous les étages d'un bâtiment. Grâce au contrôle quantitatif de la ventilation naturelle, le système de ventilation hybride permet d'éviter les problèmes habituels de ventilation non équilibrée entre étages et d'augmentation des besoins de chauffage ou de refroidissement d'un bâtiment.

\* \* \* \* \*

## Study of a prototype of a next-generation hybrid ventilation system

Quantitative control of natural ventilation is a core technology for hybrid ventilation system. Quantitative control of natural ventilation signifies that natural ventilation rate has to be maintained in a specific range and that the ventilation air has to be supplied and exhausted smoothly for every point in a building. A prototype of hybrid ventilation system for the next generation is proposed in this study. The hybrid ventilation system for the next generation uses the temperature difference between indoor and outdoor as a power of natural ventilation. That is because the temperature difference has the characteristics to exist always and to be predictable. The predictability signifies that ventilation facilities with standard pattern can be made to use the predictable power. In the hybrid ventilation system, ventilation air is supplied and exhausted through ducts, and the buoyancy in vertical ducts is controlled to obtain the sufficient power for ventilation. The duct facilities make air supply and air exhaust possible at every floor of a building. The hybrid ventilation system improves, based on the quantitative control technology for natural ventilation, the previous problems such as unbalanced ventilation between floors and increase of heating and cooling loads of a building.



## Etude numérique de scénarios d'incendie et de la ventilation de secours dans une station avec correspondance dans le métro

*R. Maddahian, M. Shoaee, H. Afshin, B. Farhanieh  
Sharif University of Technology, Tehran, Iran*

Avec la croissance urbaine, le besoin de moyens de transport rapides, sûrs et peu coûteux augmente. Le métro offre une bonne solution à cet égard, car il permet de transporter rapidement un grand nombre de voyageurs. Lors de la conception des lignes de métro, une attention particulière est accordée au confort des voyageurs. Le système de ventilation du métro doit assurer des conditions de confort dans les stations, mais aussi des voies d'évacuation sûres et exemptes de fumée et de polluants en cas d'urgence. Le bon fonctionnement des systèmes de ventilation de secours est étroitement lié aux scénarios d'incendie. Dans cette étude, six scénarios d'incendie différents sont définis pour une station avec correspondance (Darvazeh Shemiran), sur la ligne 4 du métro de Téhéran. Pour établir les performances du système de ventilation de secours, les scénarios d'incendie sont étudiés dans le cadre d'une simulation par CFD. On admet que la puissance thermique maximale de l'incendie est de 20 MW, et le feu est considéré comme une source de chaleur et de fumée. Pour étudier les effets de la ventilation des autres stations sur la propagation de la fumée, deux stations voisines sont également prises en compte dans la simulation. Les résultats obtenus montrent que le bon fonctionnement de la ventilation de secours dépend pour une large part de l'emplacement du feu dans le train et du type de station (quai latéral, quai central, correspondance) ; il n'est donc pas possible d'appliquer le même scénario d'incendie à différents types de stations. Le moment du démarrage et de l'arrêt de la ventilation de secours, de même que le débit volumétrique des ventilateurs, doivent donc être réglés sur la base de simulations tridimensionnelles des scénarios d'incendie.

\* \* \* \* \*

## Numerical investigation of fire scenarios and emergency ventilation in a cross subway station

Due to the growth of cities, a need for a fast, safe and low-cost public transportation system arises. One solution to the mentioned problem is the use of subways. The high capacity of passenger transportation besides the high speed of trains makes them popular. With regard to the development of subway lines, special attention is drawn to people comfort. Subway ventilation system in addition to prepare the comfort conditions in stations must be able to provide a safe, smoke and pollution free route for evacuation of passengers in emergency situations. The proper working of emergency ventilation system has a close relation with fire scenarios. In this research, six different fire scenarios are defined for a cross station (Darvazeh Shemiran) in line 4 of Tehran subway. In order to show the performance of emergency ventilation system, the fire scenarios are simulated using Computational Fluid Dynamics (CFD). The maximum Heat Release Rate (HRR) of fire is assumed 20MW and fire is considered as source of heat and smoke. In order to investigate the effect of other stations ventilation on spread of smoke, two neighbor stations are also considered in simulations. The obtained results show that the appropriate working of emergency ventilation system is highly dependent on place of fire in train and type of station (side, island and cross) in a manner that a same fire scenario is not applicable for different type of stations. Therefore the time of starting or shutting down of emergency ventilation as well as the volumetric rate of ventilation fans should be designed based on three dimensional simulations of fire scenarios.

## Nouvelle démarche de conception pour la ventilation semi-transversale des tunnels

R. Maddahian, N. Najafpour Nateghe, B. Farhanieh, H. Afshin  
Sharif University of Technology, Tehran, Iran

La ventilation est essentielle pour la sécurité dans les tunnels, ainsi que pour éliminer la pollution et assurer des conditions de température et de confort acceptables. En cas d'incendie, le système de ventilation doit permettre d'éliminer ou de limiter la présence de fumées, de telle sorte que l'évacuation des personnes puisse se faire en sécurité. Trois systèmes de ventilation peuvent être utilisés dans les tunnels : ventilation longitudinale, transversale ou semi-transversale. Le système longitudinal, simple, est souvent choisi en première intention. Un flux d'air est créé sur la longueur du tunnel par des ventilateurs axiaux placés au niveau de la voûte du tunnel. Dans la ventilation transversale, l'air est généralement fourni en partie basse et extrait en partie haute, par des conduits disposés respectivement en bas et en haut de la structure. Pour limiter l'ampleur des travaux ou les coûts, on renonce parfois aux conduits de ventilation pour recourir à un système semi-transversal. La procédure générale pour le calcul des émissions des véhicules, de l'apport d'air neuf requis et de la perte de charge dans la ventilation longitudinale est proposée par l'AIPCR. Il n'est pas proposé de procédure similaire pour les autres méthodes de ventilation. Cette étude a pour objet d'élaborer une nouvelle démarche de conception pour le calcul des besoins d'air neuf, du positionnement des grilles de soufflage et d'extraction et des pertes de charge. La méthode proposée est utilisée pour la conception du système de ventilation du tunnel Niavesh, à Téhéran. Elle est validée par CFD. On note une très bonne concordance entre les résultats obtenus sur le modèle et par simulation CFD.

\* \* \* \* \*

## A new design procedure for semi-transverse ventilation of tunnels

In order to provide safe environment, remove pollution and acceptable temperature and comfort in tunnels, a ventilation system is essential. In case of fire, ventilation system should be capable of removing or controlling smoke in order to prepare a safe route for people evacuation. Longitudinal, transverse and semi-transverse are three different types of ventilation system used for tunnels. Longitudinal system is the first choice and simple system. Air is induced along the length of tunnel via jet fans inside tunnel or axial fans in tunnel portals. In the transverse ventilation system, air is generally supplied at the low level and extracted at high level via a ducting system in the bottom and top of tunnel, respectively. Due to the civil or cost limitations in transverse system, the supply or extract duct can be omitted which results in semi-transverse system. The general procedure for calculating vehicles emission, required fresh air and pressure drop calculation in longitudinal ventilation is proposed by PIARC. The same procedure do not proposed for other ventilation methods. Therefore, the aim of this research is to introduce a new design procedure for calculating the required fresh air, location of supply or exhaust grills as well as air pressure drop. The proposed method is used for designing ventilation system of Niayesh tunnel in Tehran. The method is also validated using Computational Fluid Dynamics (CFD). The very good agreement is seen between obtained results of model and CFD simulations.

## Méthodologie associant outils de simulation et mesure pour une ventilation optimisée des bâtiments

C. Cantau, A. Dugué  
NOBATEK, Anglet, France

En matière de réduction des consommations énergétiques des bâtiments, le Grenelle de l'Environnement a fixé des objectifs ambitieux qui vont entraîner des changements profonds pour la construction et la réhabilitation. L'objectif du facteur 4 et les nouvelles réglementations thermiques vont impacter notre façon de construire, de réhabiliter et d'utiliser les bâtiments. Ces nouvelles exigences en matière d'efficacité énergétique ont pour conséquence la réalisation de bâtiments plus étanches, dans lesquels le rôle de la ventilation se trouve renforcé pour maintenir une qualité de l'air suffisante et une meilleure conservation du bâti dans le temps. Le poste « ventilation » devient également l'un des principaux postes de consommation. Étant donné le risque possible de dégradation du confort des usagers et de la qualité de l'air intérieur (QAI) et la nécessité de maintenir des coûts de ventilation maîtrisés, il convient de disposer d'une méthodologie permettant de définir la stratégie de gestion de la ventilation (mécanique, naturelle ou hybride) adaptée au bâti et à son usage. Compte tenu du manque d'approche quantitative sur ce sujet, il faut développer une méthodologie pour obtenir une ventilation permettant un mix énergie/confort/QAI optimum. Au cours de cette présentation, nous présenterons différents projets menés par le Centre Technologique NOBATEK, qui ont l'avantage d'illustrer la méthodologie que nous avons développée sur le thème Ventilation/énergie/confort et santé. La méthodologie repose sur l'utilisation de divers outils de simulation thermique dynamique (STD) et d'écoulement des fluides (CFD). Dans certains cas, cette méthodologie s'appuie sur des données expérimentales et, par conséquent, des solutions de monitoring développées au centre. Les projets présentés traiteront de questions de confort (plus particulièrement, la gestion des températures et de l'humidité en réhabilitation), d'optimisation de techniques de rafraîchissement mettant jeu de la ventilation, de définition de choix techniques et de dimensionnement sur les postes « ventilation » et « chauffage » permettant un renouvellement d'air suffisant pour un confort et des dépenses énergétiques maîtrisés.

\* \* \* \* \*

## Methodology associating simulation and measurement tools for optimised building ventilation

In France, the "Grenelle de l'Environnement" (Environment Round Table) set ambitious goals for reducing energy consumption in buildings. This will lead to profound changes in construction and rehabilitation operations. The new thermal regulations will greatly impact the manner in which we build, rehabilitate and use buildings. These requirements for energy efficiency are aimed at constructing more airtight buildings, in which the role of ventilation is reinforced in order to maintain an adequate air quality and a better building conservation over time. In this new generation of building, ventilation also represents the most important part of energy consumption. With the risk of deterioration of comfort and indoor air quality (IAQ) and the need to control ventilation costs, it is necessary to have a methodology for defining the ventilation strategy adapted to the building and its use. There is a lack of quantitative approaches focused on this issue; the development of a methodology is required to define a ventilation management system allowing an optimum energy, comfort and IAQ mix. We will present projects that illustrate the methodology we developed on the theme of ventilation/energy/comfort and health. The methodology is based on the use of various simulation tools: dynamic thermal simulation (DTS) and computational fluid dynamics (CFD). In some cases, this methodology is also based on experimental data analysis (innovative monitoring solutions are also developed). The projects presented will address issues of comfort (especially the matter of high temperature and humidity in refurbishment), optimisation techniques for cooling based on the use of ventilation, definition of technical choices and design for ventilation and heating to provide an efficient air change rate.

## Qualité de l'air intérieur et systèmes de ventilation des bureaux paysagers et bâtiments scolaires à basse consommation

J. Koffi<sup>1</sup>, F. Allard<sup>1</sup>, X. Boulanger<sup>2</sup>, L. Mouradian<sup>3</sup>, P.-Y. Pamart<sup>4</sup>, A.-M. Bernard<sup>5</sup>, M. Jardinier<sup>6</sup>

<sup>1</sup>LaSIE - Université de La Rochelle, La Rochelle, France

<sup>2</sup>Air.H, Villeurbanne, France

<sup>3</sup>CETIAT, Villeurbanne, France

<sup>4</sup>CSTB, Marne-la-Vallée, France

<sup>5</sup>ALLIE'AIR, Meximieux, France

<sup>6</sup>Aereco S.A, Marne-la-Vallée, France

\* \* \* \* \*

## Indoor air quality and ventilation systems in low-energy open-plan offices and school buildings

Reducing buildings' energy consumption can lead to actions that may affect the global air renewal and question the ability for ventilation systems to reach their goal of providing an acceptable indoor air quality. The changes should be evaluated in terms of IAQ impacts in each type of building. The QUAD-BBC project aims to describe the interactions between buildings, users and systems, by using SIMBAD, a coupled mass and heat transfers toolbox. This second part of the project addresses office and school buildings. For these cases, intermittent balanced ventilation systems and DCV controlled by occupancy and indoor CO<sub>2</sub> concentration are designed and simulated. Two window opening systems, i.e. manual and CO<sub>2</sub>-controlled windows, are simulated for the classroom. In addition, scenarios for occupancy and pollutants emissions linked to occupancy, activities, materials and office equipment are defined. The study then compares the ventilation systems through a set of IAQ indexes related to different groups of pollutants and a multi-criteria method combining energy, IAQ and relative humidity criteria. The behaviour of mechanical ventilation systems is quite similar in terms of indoor air quality. However, the control through occupant presence and CO<sub>2</sub> concentration can considerably reduce the energy demand for both heating and fans. In the school building, window systems greatly increase the heating energy demand as a consequence of the absence of heat recovery, compared to mechanical intermittent systems. The CO<sub>2</sub>-window provides better IAQ than the manual window which is not operable during the occupancy times. For all the studied systems, VOC background concentrations can reach or exceed the guideline values when the considered system is turned off at night; this pollution does not affect the occupants' exposure.

# Exposants / Exhibitors

## **ADMI**

Suresne (92)  
*France*

## **INTERTEK**

Heudebouville (27)  
*France*

## **ECOMESURE**

Janvry (91)  
*France*

## **TSI France**

Marseille (13)  
*France*

## **ETHERA**

Grenoble (38)  
*France*

## **TH INDUSTRIE**

Paris (75)  
*France*

# Index des auteurs / Author index

## A

Abadie M.O. .... 15  
Adibi O. .... 57  
Aelenei D. .... 43, 44  
Afshin H. .... 57, 90, 93, 120, 121  
Ahmadi Moghaddam E. .... 109  
Alengry J. .... 105  
Aliabadi A. A. .... 16  
Allard F. .... 45, 67, 68, 123  
Amnian J. .... 93  
Andrès Y. .... 35  
Ansart R. .... 11  
Appert-Collin J.C. .... 34, 89  
Arnaud C. .... 87  
Asikainen A. .... 68, 81  
Azevedo S. .... 43, 44

## B

Bahloul A. .... 41  
Bahrani A. .... 104  
Bardin-Monnier N. .... 114  
Bartzis J. .... 4  
Batt R. .... 98  
Bayatian M. .... 104  
Beghein C. .... 23  
Belon C. .... 113  
Belut E. .... 11, 69, 70  
Bémer D. .... 34, 35  
Ben Othmane M. .... 13  
Bennett S. .... 75, 76  
Bernard A.-M. .... 45, 123  
Berne M. .... 51  
Berthelot N. .... 36  
Bigay Y. .... 113  
Biro E. .... 36  
Bischof W. .... 68, 81  
Blondeau P. .... 15  
Boaumi D. .... 100  
Bois D. .... 52  
Boiteux P. .... 87  
Bonthoux F. .... 21  
Borodinecs A. .... 7  
Bouilloux L. .... 39, 89  
Boulangier X. .... 45, 123  
Bourrous S. .... 89  
Braconnier R. .... 19  
Braikia M. .... 91  
Brelh N. .... 81  
Brunisso A. .... 51  
Brunschwig R. .... 87  
Bruzzi R. .... 87

## C

Cantau C. .... 122  
Cardo S. .... 110  
Caré I. .... 60  
Caromel Y. .... 115  
Caron T. .... 113  
Carrer P. .... 68, 81  
Césard V. .... 70  
Chaineaux J. .... 20  
Chammem T. .... 92  
Charrière N. .... 87  
Chaucherie X. .... 36  
Chavez M. .... 41  
Chen J.-K. .... 74  
Cheong D.K.W. .... 18  
Chevallier E. .... 113  
Collignan B. .... 67  
Colomb S. .... 113  
Constantin A. .... 48  
Cortes P. .... 31  
Cruz H. .... 44

## D

Dalewski M. .... 6  
De Mascureau H. .... 36  
Derrough S. .... 72  
Diallo T. M.O. .... 67  
Dimitroulopoulou C. .... 4  
Dugué A. .... 122  
Duquenne P. .... 35  
Durand C. .... 72

## E

Elbez-Uzan J. .... 31  
Esteban J. C. .... 47  
Ezzat K. H. .... 6

## F

Farhanieh B. .... 57, 90, 93, 120, 121  
Faure X. .... 53, 54  
Fazileabasse J. .... 39  
Figueroa C. E. .... 102  
Forthomme A. .... 35  
Freitag H. .... 26

## G

Géhin E. .... 13

Gélain T. .... 38, 105  
Gervais P.C. .... 114  
Ghahremanian S. .... 25  
Gibson M. .... 75  
Ginestet A. .... 32  
Gondo T. .... 58  
Goodfellow H. .... 63  
Goyer N. .... 41  
Green S. I. .... 16  
Grippari F. .... 34  
Guédel A. .... 30  
Guichard R. .... 69

## H

Hänninen O. .... 68, 81  
Hartmann T. .... 81  
Havet M. .... 13  
Heinonen K. .... 88  
Henninot M. .... 32  
Herberger S. .... 66  
Herrera H. .... 87  
Hervé L. .... 73, 116  
Hiyama K. .... 96, 97  
Hoffmann M. .... 77  
Hsu C. M. .... 74  
Huang R. F. .... 74  
Huber M. .... 48  
Huynh C. K. .... 87

## I

Inagaki T. .... 118  
Inard C. .... 54  
Inderfurth A. .... 65  
Ingenbold P. .... 40

## J

Jahan S. .... 39  
Janès A. .... 20  
Jansson A. .... 103  
Jardinier M. .... 45, 123  
Johansson M. .... 78  
Jönsson A. .... 3  
Joubert A. .... 35

## K

Kalliomäki P. .... 17, 18  
Kandzia C. .... 65  
Karcher G. .... 114  
Karpe P. .... 113  
Kato S. .... 49, 50, 96, 97

Katoh M.....	58
Kawahara D. ....	49, 96, 97
Kazempour A. ....	57, 90, 93
Keller F.-X. ....	12, 99
Kelsey A. ....	98
Kephalopoulos S.....	68
Khelil A. ....	91
Kirchner S. ....	5
Klettner C.A. ....	17, 18
Koffi J.....	45, 67, 123
Korhonen K.....	88
Koskela H.....	17, 18, 24, 56
Kosonen R.....	27
Kotani H.....	118
Kudo T. ....	58
Kurabuchi T. ....	8, 85, 94, 101

## L

Laine T. ....	56
Lanza R. ....	31
Laugier F.....	55
Le Coq L. ....	35
Le Roux N. ....	53, 54
Leal V.....	68
Lecler M.....	99
Lee J.....	119
Lee S. ....	8, 49, 50, 85, 94, 96, 97
Lehtimäki M. ....	88
Lepetit L.....	31
Lestang M.....	39
Lestinen S. ....	56
Liard M. ....	36
Lin C. L. ....	9
Lin Y. J. P.....	9
Locatelli D.....	72
Löfberg J. ....	78
Loukarfi L.....	91, 111

## M

Maddahian R. ....	120, 121
Mana Z. ....	55
Mandin C. ....	5, 42
Mathis P. ....	40
Maula H.....	24, 65
Mayer A.....	22, 71
Mehel A. ....	86
Melikov A. ....	6
Mendes A. ....	43
Mendonça K. C. ....	15
Meslem A. ....	23
Mhiri H. ....	92
Mocho V.-M. ....	33
Mohammad Aliha N. ....	90
Mohand-kaci H. ....	39
Momoi Y. ....	118
Morand T.....	117
Morèle Y.....	34, 99
Mori K.....	49, 96, 97
Moshfegh B. ....	25

Mouradian L.....	45, 123
Müller D. ....	26, 40, 65, 77
Mustakallio P. ....	17, 18, 27

## N

Nagory A. ....	112
Najafpour Nateghe N.....	121
Naji H. ....	91
Nastase I. ....	23
Neau H. ....	11
Nicolle A.D. ....	17, 18
Nielsen P. V.....	10, 14
Nobile P. ....	72
Nogami M. ....	85
Nomura Y. ....	49, 96, 97
Nyyssölä H. ....	56

## O

Ochiai H. ....	8
Ogasawara T. ....	8, 94, 101
Ohira N.....	94
Olmedo I. ....	10, 47
Ottosson M. ....	78
Ouf F.-X. ....	33, 89
Oura Y. ....	49, 96, 97

## P

Pamart P.-Y. ....	45, 123
Pantelic J. ....	18
Papoila A. L. ....	43
Park B.....	50
Parker S.....	59
Patrascu C. ....	21
Pavelek M. ....	84
Pech O.....	84
Pilgram D. ....	115
Pinto A. ....	44
Pocock D. ....	75
Pontreau S. ....	33
Porchet P. A. ....	87
Poussier S.....	114
Prévost C.....	38, 39, 70
Prozuments A.....	7
Pugnet D. ....	32

## R

Ramalho O. ....	5, 42
Rapp R.....	79
Rechiche A. ....	100
Reggio M.....	41
Régnier R.....	34
Ribéron J. ....	5, 42
Ricciardi L.....	39, 54, 55, 105
Rimbert N.....	69, 70

Roberge B.....	41
Rogak S. N. ....	16
Rohdin P. ....	78
Rosenqvist M.....	27
Roudane M.....	111
Ruiz de Adana M. ....	10, 47

## S

Saarinén P. ....	17
Sagara K.....	118
Sagot B. ....	37
Salliou J.R. ....	53
Sandberg E. ....	17, 64
Sandberg M.....	64, 109
Santos A. P. ....	44
Sattari A.....	64, 109
Saunders J. ....	28, 75, 76
Sawaki S. ....	49, 96, 97
Schmidt M. ....	46
Sekhar C. ....	18
Seppänen O. ....	68
Shinozaki M. ....	118
Shiraishi Y.....	106, 107, 108
Shoaei M. ....	120
Sicre B.....	80
Siikonen T.....	56
Simmonds P.....	112
Simon X. ....	35
Simonin O.....	11
Sinai Y. ....	27
Soares S. ....	54, 55
Sollicec C. ....	13
Song J.-H.....	95
Song S.-Y.....	95
Sosa H.....	101
Streblow R.....	77
Su R.K. ....	18
Suezaki T.....	108
Sundman T. L.....	56
Svensson K. ....	25



---

**T**

Taipale A.....	88
Takasuna H.....	58
Takemasa Y.....	58
Tampère L.....	89
Tang J.W.....	17, 18
Tanière A.....	69
Taylor N.....	31
Tham K.W.....	17, 18
Thomas D.....	34, 89, 114
Tissot A.....	32
Toriumi Y.....	101
Tran-Thi T.-H.....	113
Tummers M.....	25

---

**U**

Ulmer H.....	66
--------------	----

---

**V**

Valduga K.....	12
Vartiainen S.....	88
Vauquelin O.....	92, 105
Viegas J.....	43, 44
von Hahn N.....	82

---

**W**

Wang Z.....	33
Wargocki P.....	2, 68, 81
Wyart G.....	42

---

**Y**

Yamanaka T.....	118
Yasunaga R.....	106

---

**Z**

Zeren Z.....	11
Zimmermann E.....	72

[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)  
contact : [ventil2012@inrs.fr](mailto:ventil2012@inrs.fr)

Graphisme / Graphic design : Eva Minem / INRS – Impression / Printing : INRS Centre de Lorraine

Organisé par l'INRS en partenariat avec / Organised by INRS in partnership with :



Observatoire de la qualité de  
l'air intérieur