

STRATEGIES DE CONTROLE LOCAL DE LA VENTILATION DEVELOPPEMENT D'UNE PLATEFORME NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE

Nicolas CORDIER – cordier_n@enpte.fr

Pierre MICHEL – michel@entpe.fr

Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Département Génie Civil et Bâtiment,
Laboratoire des Sciences de l'Habitat.

ENTPE DGCB LASH, Rue Maurice Audin, 69120 Vaulx-en-Velin, France.

Abstract. Local control of ventilation in large buildings is considered to be a main issue in energy savings regarding the huge energy losses that are usually induced by such large volumes. An efficient ventilation system and the development of local control ventilation strategies could prevent large buildings from having an unsuited or overvalued ventilation and reduce significantly the energy consumption. Considering the issue of developing such strategies, both pollutant dispersal and heat transfer models, based on Computational Fluid Dynamics codes, have been developed in Science Buildings Laboratory (LASH) in Lyon. The models are used for numerical tests of established control ventilation strategies, while an added experimental device allows to perform experimental validation.

Mots-clés. Contrôle local, Grandes dimensions, Ventilation, Qualité d'air intérieur, Modélisation, CFD, Expérimentation.

1. INTRODUCTION

Les systèmes de ventilation doivent aujourd'hui être pensés de manière à adapter le débit de ventilation à l'occupation réelle des locaux, afin de mieux maîtriser les dépenses énergétiques dues au renouvellement d'air dans les locaux, tout en maintenant une bonne qualité d'air intérieur pour assurer le confort et l'hygiène des occupants.

Les locaux de grandes dimensions représentent alors, du fait de leur occupation fortement discontinue et localisée, les locaux sur lesquels les réductions des dépenses énergétiques pourraient être les plus importantes, s'ils étaient équipés de systèmes de ventilation adaptés aux besoins (Barbat, 2000). Un contrôle local au sein de ces grands volumes permet de réduire considérablement les dépenses énergétiques liées à une ventilation inadaptée et surévaluée dans les zones de faible occupation.

Dans l'optique d'un développement de stratégies de contrôle local, une plateforme numérique et expérimentale a alors été réalisée afin de pouvoir par la suite intégrer les stratégies de contrôle au modèle numérique développé et les tester expérimentalement.

Les stratégies de contrôle envisagées doivent assurer une qualité d'air satisfaisante et un confort intérieur acceptable pour les occupants. La mise au point des algorithmes de contrôle se baseront alors sur la connaissance précise de plusieurs paramètres caractéristiques des niveaux de qualité d'air et de confort. Le confort thermique sera évalué par l'indice de confort PMV, présenté par Bruant (Bruant, 1997) comme un indicateur efficace permettant d'intégrer tous les paramètres principaux du confort, pendant que la qualité de l'air intérieur sera, elle, caractérisée par la concentration en CO₂. Le choix du CO₂

comme paramètre caractéristique se justifie par le fait que, étant donnée l'activité de bureau pratiquée au sein du local d'étude, les occupants se présentent alors comme la principale source de pollution, du fait de leur activité métabolique. Le CO_2 devient alors le principal polluant de l'air intérieur et le contrôle de sa teneur, directement liée à l'occupation du local, permet d'assurer un air de qualité au sein du local (Woods et al., 1982, Liddament, 1996).

L'objectif était donc dans un premier temps d'élaborer un modèle numérique du local d'étude permettant de déterminer sur la totalité du volume l'ensemble des paramètres définissant l'indice PMV, ainsi que la distribution du CO_2 . Parallèlement au développement du modèle, la mise en place d'une plateforme expérimentale a été effectuée pour permettre le calage et la validation du modèle, et pour autoriser, à l'avenir, le test des stratégies de contrôle local développées.

2. PRESENTATION DU LOCAL D'ETUDE

Un local du Laboratoire des Sciences de l'Habitat (LASH) a servi de local d'étude pour le développement de la plateforme numérique et expérimentale envisagée.

Ce local présente l'ensemble des caractéristiques géométriques permettant de le considérer comme un local de grandes dimensions, ainsi qu'une centrale de traitement d'air et un réseau de distribution d'air parfaitement adaptés à la réalisation de tests de stratégies de contrôle local.

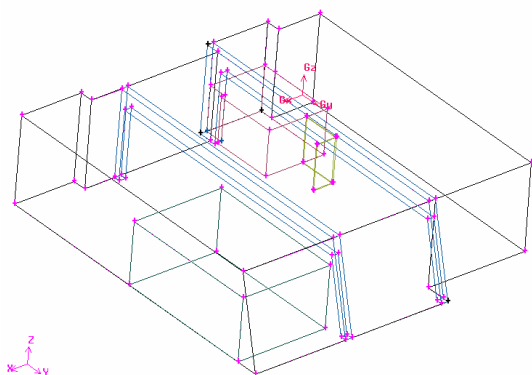


Figure 1 - Visualisation du local d'étude

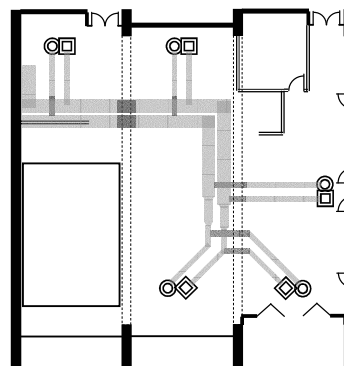


Figure 2 - Plan masse du local d'étude

Le local se présente comme un grand volume de dimensions horizontales 16 m sur 15 m, avec une hauteur sous plafond de 4,35 m, pour un volume approximatif de 950m^3 (cf. figure 1).

Il dispose d'une centrale de traitement d'air, équipée de pompes à chaleur réversibles, permettant de faire varier la température de soufflage. Deux ventilateurs, un ventilateur soufflant et un ventilateur extracteur, d'un débit maximum de $6000\text{m}^3/\text{h}$ chacun, alimentent le réseau de distribution d'air, composé de 5 bouches de soufflage et de 5 bouches d'extraction, réparties par paires sur l'ensemble du volume (cf. figure 1 et figure 2).

3. DEVELOPPEMENT D'UN MODELE NUMERIQUE

Un modèle thermo aéraulique du local d'étude, ainsi qu'un modèle de dispersion de polluant, ont été réalisés pour permettre l'évaluation numérique des stratégies de contrôle local de ventilation

Modèle thermo aéraulique

Le modèle a été établi à partir du code CFD développé par FLUENT. Une modélisation géométrique du local a été réalisée sous GAMBIT et intégrée à FLUENT.

La géométrie du local a été grandement simplifiée afin d'améliorer les performances, en termes de temps de calcul, du modèle thermo aéraulique. Quelques particularités géométriques, ayant un effet minime sur la distribution de la vitesse d'air à l'intérieur du local, ont ainsi été supprimées lors de la modélisation géométrique.

Il a alors été nécessaire de procéder à un ensemble de campagnes de mesures expérimentales pour, dans un premier temps calibrer le modèle, et dans un deuxième temps, le valider.

Le modèle ainsi développé permet désormais de déterminer les mouvements aérauliques, la distribution de la température et la teneur en humidité relative sur l'ensemble du local d'étude (cf. figure 3).

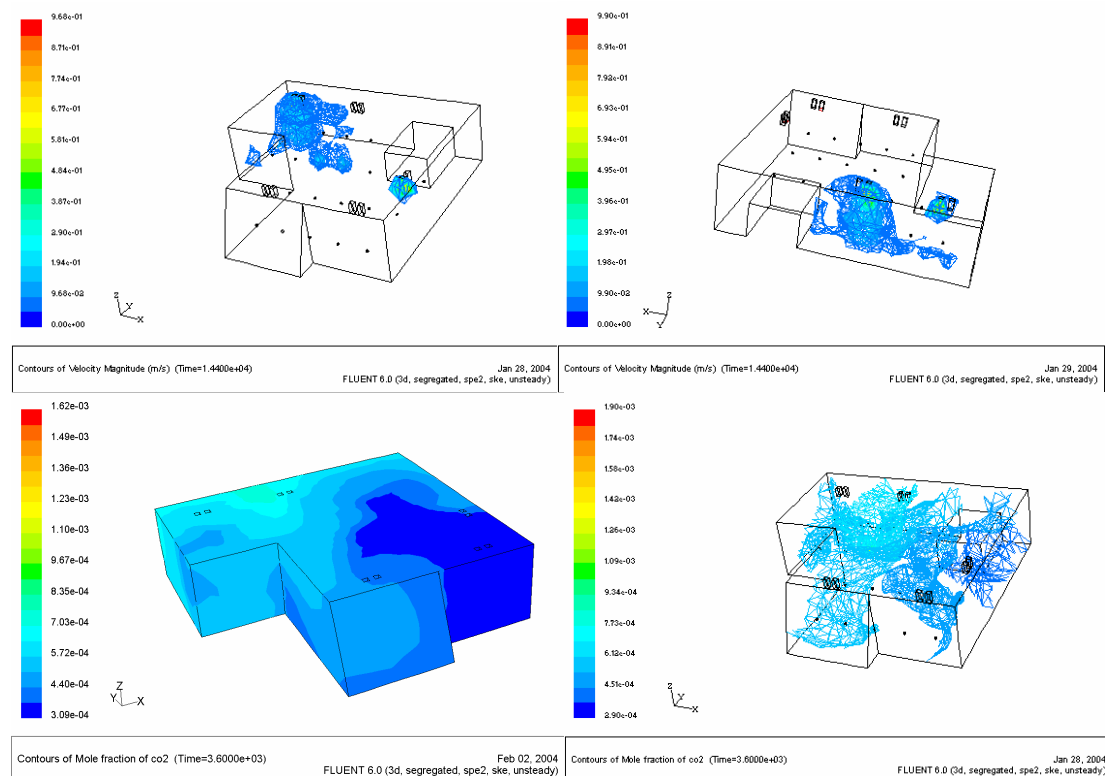


Figure 3 - Visualisation de simulations réalisées avec Fluent

Modèle de dispersion de polluant

Une fois le modèle aéraulique validé, un modèle de dispersion de polluant a été développé, pour fournir, à partir des informations d'occupation, la dispersion du polluant au sein du local. Là encore, le modèle a été établi à partir du code CFD FLUENT.

Le polluant considéré pour évaluer la qualité de l'air à l'intérieur du local est le CO₂. Ce polluant a été choisi eu égards aux activités pratiquées à l'intérieur du local, c'est-à-dire des activités essentiellement de bureau. L'occupation du local (nombre et position des occupants) a été traduite en termes de production de CO₂, sur la base des informations fournies par le guide de l'AIVC (Liddament, 1996).

Il est désormais possible, grâce à ce modèle, de déterminer, à partir des informations d'occupation, la dispersion du CO₂ sur l'ensemble du local d'étude (cf. figure4).

4. DEVELOPPEMENT D'UNE PLATEFORME EXPERIMENTALE

Parallèlement au modèle numérique développé, une plateforme expérimentale a été conçue, à la fois pour valider le modèle, et également pour effectuer, par la suite, des tests en situation réelle de stratégies de contrôle local.

Le local a ainsi été équipé d'un système d'acquisition et de commande complet, et d'un système de pilotage automatique de l'ensemble du dispositif.

Pilotage de la plateforme

Un poste de pilotage est installé dans le local, permettant d'avoir un contrôle sur l'ensemble du dispositif. Le réseau de traitement d'air du local d'étude est associé à un système d'acquisition et de commande permettant de traiter les informations issues de capteurs positionnés au sein du local, et d'agir sur différents actionneurs qui composent la plateforme, tels que les ventilateurs. Pour ce faire, un ordinateur PC est disposé dans le local. Il est équipé d'une carte d'acquisition National Instruments AT-MIO-16H-9, présentant des multifonctions analogiques et digitales, et pouvant être utilisée dans plusieurs applications pour automatiser et contrôler les équipements. L'acquisition et la commande se fait au moyen d'une interface utilisateur développée avec l'environnement Labview.

Acquisition

Le système d'acquisition de la plateforme expérimentale fournit toutes les informations utilisées dans les stratégies de contrôle local envisagées. Dans le cas de notre étude, ce système d'acquisition se compose de caméras vidéo fournissant les images nécessaires à la détermination de l'occupation dans le local, ainsi que de divers capteurs de paramètres d'ambiance.

Un ensemble de capteurs permettent ainsi de récupérer des informations sur la température, l'humidité relative, la teneur en CO₂, et la vitesse de l'air au sein du local d'étude.

Des mesures expérimentales de l'ensemble de ces paramètres ont permis de calibrer, puis de valider le modèle numérique développé préalablement.

Un ensemble de 5 caméras IP fournit des images vidéo du local en continu. Ces images sont analysées sur l'ordinateur PC du poste de pilotage et renvoie des informations concernant l'occupation au sein du local. Par la suite, ces informations sur l'occupation sont traduites en termes de sources de pollution, et seront utilisées pour tester les stratégies de contrôle local élaborées.

Commande

L'utilisateur peut effectuer la commande de nombreux actionneurs sur la centrale de traitement d'air et le réseau de distribution d'air. Les actionneurs traduisent les informations issues du système de contrôle en actions mécaniques. L'utilisateur a ainsi le contrôle des vitesses des deux ventilateurs soufflant et extracteur, des pompes à chaleur, et de l'ouverture des registres à chaque bouche du réseau, par l'intermédiaire de moteurs installés sur les registres. Les moteurs choisis, de type LMC24-SR-F, de marque Belimo (cf. photo ci-contre), offre la possibilité d'une commande modulable, à partir d'un signal analogique 0..10V. Il permet de faire varier l'ouverture des registres de 0 à 90°, et par conséquent le débit d'air, soufflé ou extrait, aux différentes bouches du réseau de 0 à 100%. Le contrôle des débits aux extrémités du réseau de distribution constitue une composante essentielle du contrôle local de ventilation.

L'ensemble de ces commandes permet d'effectuer complètement le contrôle de la ventilation dans le local d'étude.

La plateforme expérimentale ainsi développée a permis, par l'acquisition répétée de données sur les paramètres d'ambiance, issues de nombreux capteurs, d'effectuer la validation des modèles numériques réalisés préalablement. Elle sera par la suite utilisée pour mettre en application et tester en situation réelle les stratégies de contrôle local envisagées.

5. CONTROLE LOCAL DE LA VENTILATION - RESULTATS OBTENUS

Mise en évidence de l'intérêt d'un contrôle local de la ventilation

Afin, dans un premier temps, de mettre en évidence l'intérêt d'un contrôle local de la ventilation, Il a été procédé à plusieurs simulations numériques faisant varier les configurations de ventilation au sein du local pour des scénarios d'occupation fixés.

La démarche adoptée fut la suivante :

Le local a été découpé en quatre zones, délimitées par les diffuseurs aux extrémités du réseau de distribution d'air. Les occupants sont alors localisés dans chacune des zones ainsi définies.

Des scénarios dynamiques d'occupation ont été élaborés pour tester la pertinence d'une ventilation localisée sur le local.

Une comparaison, suivant les différentes configurations de ventilation, de l'évolution de la concentration en CO₂ au sein du local a été effectuée pour ces scénarios d'occupation.

Le scénario d'occupation présenté ici est le suivant : un groupe de 17 personnes se déplace pendant 2 heures dans le local. Il reste dans un premier temps 30 minutes en zone 1, puis se déplace dans la zone 2 où il reste 45 minutes et enfin se déplace dans la zone 3 où il reste 45 minutes supplémentaires.

Une première simulation (s1) est effectuée, ne tenant absolument pas compte de l'occupation. Le débit de renouvellement d'air est alors déterminé à partir de la surface du local, d'après les recommandations fournies par le guide de l'AICVF ($4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2$), soit un débit total de soufflage de $820 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, réparti également sur chacun des 5 diffuseurs, et un débit d'extraction de $820 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, réparti également sur chacune des 5 bouches d'extraction.

Une deuxième simulation (s2) est effectuée en tenant compte du nombre d'occupants, mais pas de leur position. Le débit de renouvellement d'air retenu est celui fourni par le CSTB pour un laboratoire avec interdiction de fumer, à savoir $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{personne}^{-1}$, soit $255 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, pour le soufflage et l'extraction, réparti également sur chacune des bouches ($51 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à chaque bouche).

Une troisième simulation (s3) considère un volume d'air échangé identique à s2, mais les zones ventilées sont limitées aux zones effectivement occupées, soit $51 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour les bouches des zones soumises à occupation.

Une quatrième simulation (s4) est effectuée avec un volume d'air échangé trois fois inférieur à s3, dans les seules zones occupées.

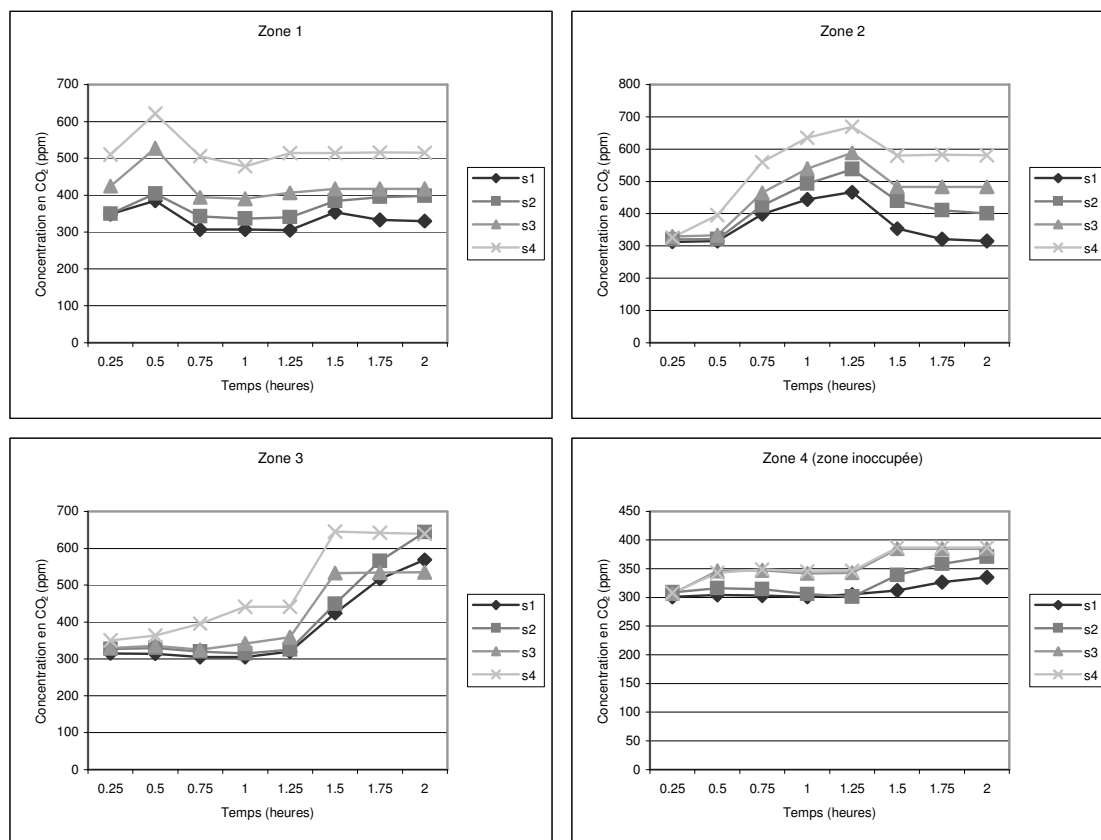


Figure 4 : Evolution de la concentration en CO_2 dans les différentes zones du local

Il apparaît, à la lumière de ces résultats (cf. figure 4), qu'une ventilation localisée conserve une grande efficacité pour le contrôle de la qualité de l'air intérieur dans le local.

Les concentrations moyennes constatées sur l'ensemble des 4 zones constituant le volume reste à un niveau tout à fait acceptable (inférieures à 700 ppm). On constate néanmoins, conformément aux prédictions, une augmentation de la concentration avec la diminution des débits de renouvellement d'air.

Les résultats montrent également une très faible variation de la concentration en polluant dans la zone inoccupée, ce qui illustre l'efficacité de la ventilation localisée à extraire le polluant.

Influence de la distribution d'air sur la dispersion du polluant. Evaluation de différentes configurations de ventilation.

Le paragraphe précédent a permis de mettre en évidence l'intérêt d'un contrôle local de la ventilation. Il est maintenant essentiel d'évaluer l'influence de la distribution d'air et des configurations de ventilation sur la concentration en CO_2 au sein du local, afin d'envisager des stratégies de contrôle évoluées.

Un protocole de tests fut établi afin d'évaluer l'efficacité à maintenir un air de qualité pour différentes configurations géométriques de ventilation. Un ensemble de simulations fut réalisé, mettant en jeu un scénario d'occupation et un débit de renouvellement d'air global fixé, mais faisant varier la configuration géométrique de la ventilation. Les différentes configurations testées furent les suivantes :

- Pas de ventilation (c1)
- Ventilation constante, identique à s1 (c2)
- Ventilation constante, identique à s2 (c3)
- Soufflage en zone occupée et extraction dans les zones inoccupées (c4)
- Soufflage en zone occupée et extraction dans la zone opposée (c5)
- Soufflage dans les zones inoccupées et extraction en zone occupée (c6)
- Soufflage dans la zone opposée à l'occupation et extraction en zone occupée (c7)
- Soufflage en zone adjacente à l'occupation et extraction en zone occupée (c8)

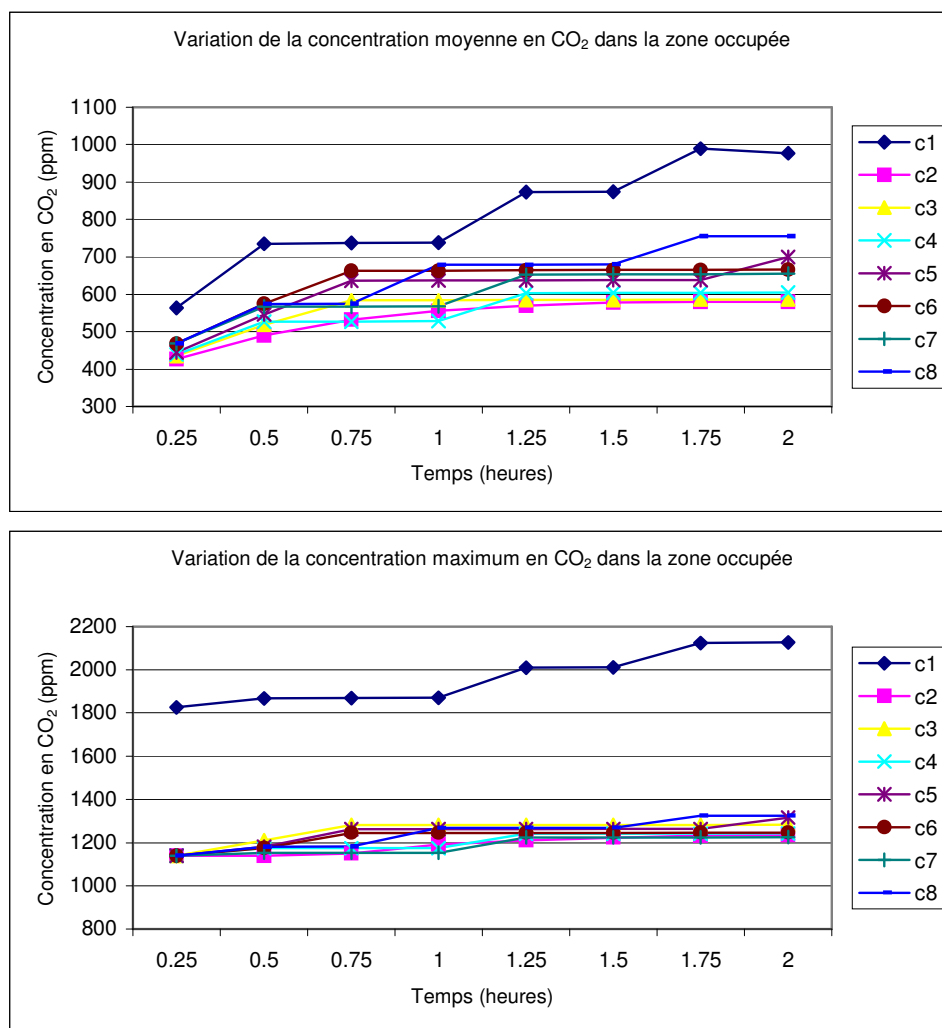


Figure 5 - Evolution des concentrations en CO₂ moyenne et maximum dans la zone occupée

Il apparaît au vu du graphique que la configuration géométrique de soufflage choisie a une influence non négligeable sur la dispersion du polluant en zone occupée. Les écarts constatés entre les différentes stratégies sont parfois conséquents au bout de deux heures

d'occupation. La concentration moyenne relevée avec la stratégie c4 après deux heures de simulation est de 605 ppm, alors qu'elle atteint 755 ppm avec la stratégie c8.

Il est relativement difficile de tirer des conclusions générales de ces premières simulations, mais elles laissent apparaître quelques grandes tendances pour le contrôle local de la ventilation. Les configurations les plus efficaces sont celles qui créent le maximum de mouvements d'air au niveau de la zone polluée, pour favoriser la dispersion du polluant. Des mouvements d'air limités comme ceux de la configuration c8 engendrent une moins bonne efficacité à la conservation de la qualité d'air.

Ces premières conclusions peuvent toutefois être contrebalancées dès lors que l'on considère d'autres paramètres que la seule concentration en CO₂ pour évaluer l'efficacité d'une stratégie. Des paramètres de confort intérieur, et notamment les vitesses d'air induites au niveau de la zone occupée obligent à nuancer quelque peu ces résultats.

6. CONCLUSIONS

La plateforme expérimentale et numérique réalisée au Laboratoire des Sciences de l'Habitat constitue une base d'étude importante et indispensable pour le développement de stratégies de contrôle local de la ventilation. Le modèle numérique complet développé permet d'effectuer des simulations numériques des stratégies, et la plateforme expérimentale autorise les tests en situation réelle, afin de valider complètement les stratégies élaborées.

Les premières études menées sur le développement de stratégies de contrôle local de la ventilation ont laissé apparaître l'intérêt que présente un tel développement. Les stratégies envisagées permettent d'assurer un air intérieur de qualité, associé à une réduction très significative des consommations énergétiques, du fait de la diminution des débits de renouvellement d'air. Des diminutions de plus de 60% ont ainsi pu être constatées avec l'application de stratégies de contrôle local. Il est à noter que la multitude de configurations géométriques de ventilation possibles, dans le cas d'un grand volume et d'un réseau de distribution d'air évolué, rend l'écriture des règles de contrôle délicate, notamment dans le cas de contrôleurs multicritères d'ambiance.

REFERENCES

- AICVF, 1992. Ventilation : Conception et calcul des installations de ventilation des bâtiments et des ouvrages. Collection des guides thématiques de l'AICVF.
- Barbat, M., 2000. Contribution au développement d'un contrôle optimal de la ventilation dans les locaux de grandes dimensions. Thèse de Doctorat. INSA, Lyon.
- Bruant, M., 1997. Développement et paramétrage de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance. Thèse de Doctorat. INSA, Lyon.
- Emmerich, S. J. and A. K. Persily, 1997. Literature review on CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation. ASHRAE Transactions 103 : 2, pp. 229-243.
- Ke, Y.-P. and S. A. Mumma, 1997. Using Carbon Dioxide Measurements to Determine Occupancy for Ventilation Controls. ASHRAE Transactions 103 : 2, pp. 365-374.
- Lepers, S., 2000. Modélisation des écoulements de l'air dans les bâtiments à l'aide des codes CFD. Contribution à l'élaboration d'un protocole de validation. Thèse de Doctorat. INSA, Lyon.
- Liddament, M.W., 1996. A Guide to Energy Efficient Ventilation. Air Infiltration and Ventilation Center.
- Persily, A. K., 1997. Evaluating Building IAQ and Ventilation with Indoor Carbon Dioxide. ASHRAE Transactions 103 : 2, pp. 193-204.
- Woods, J.E., Winakor, G. et al, 1982. Subjective and objective evaluation of a CO₂-controlled variable ventilation system. ASHRAE Transactions 88 : 1, pp. 1385-1393.