

OPTIBAT: UNE CELLULE EXPERIMENTALE DE REFERENCE DANS UN ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE SIMULE POUR L'ETUDE ET LA MESURE DES TRANSFERTS AERAULIQUES MULTIZONES DANS LE BATIMENT

F. AMARA^{°*}, P. DEPECKER*, F. ALLARD*

[°]LASH CNRS SDI-ENTPE Rue M.Audin 69120 Vaulx en Velin

*CETHIL-URA CNRS 1372 INSA Bât 307 69121 Villeurbanne

RESUME

L'un des principaux problèmes relatifs à l'étude des transferts aérauliques multizones demeure la validation expérimentale des modèles numériques développés aussi bien sur la prédiction des débits interzones que sur la diffusion des polluants.

Depuis quelques années, le CETHIL a développé une expérimentation à l'échelle réelle basée sur un appartement de type F4 de 88m², construit dans le hall du laboratoire en environnement climatique contrôlé. Cet outil expérimental permet le contrôle complet des conditions climatiques extérieures en façades. La température de l'air, l'humidité relative, les différences de pression entre les deux façades principales sont contrôlées, ce qui fait d'OPTIBAT un véritable outil de référence pour l'étude du comportement thermo-aéraulique des bâtiments multizones pour constituer des bases de données nécessaires à la validation des codes de prédiction numérique.

La présente publication décrit la cellule expérimentale et donne les résultats des premières expérimentations effectuées. Tout d'abord, nous caractérisons les propriétés physiques de chaque paroi extérieure et intérieure vis-à-vis de la perméabilité à l'air. Deux méthodes de pressurisation sont utilisées et comparées: la méthode de la zone gardée et la méthode passive. Les résultats obtenus par ces deux méthodes sont concordants. Cependant, la méthode passive nous paraît moins contraignante.

Nous présentons aussi des travaux préliminaires que nous avons réalisés pour la mesure des débits interzones par des techniques de gaz traceurs

INTRODUCTION

Aucun des codes numériques développés actuellement sur la détermination des débits interzones en configuration multizone n'a réellement fait l'objet d'une validation. En effet, Peu de données expérimentales fiables sont actuellement disponibles. C'est pourquoi des efforts importants sont actuellement consentis sur le plan international pour palier ce manque.

C'est donc dans cette démarche générale de mise au point d'un outil expérimental afin de caler certains modèles numériques tels COMIS [1] que le CETHIL, le CETIAT, et le LASH, trois laboratoires de la région Rhône Alpes ont initié un projet de recherche dont l'un des supports est la cellule OPTIBAT [2]. Cette étude est intégrée à l'annexe 23 de l'Agence Internationale de l'Energie pour diffusion vers la communauté scientifique.

Nous présentons ici la cellule OPTIBAT, les résultats sur la caractérisation des perméabilités interzones ainsi que les travaux préliminaires que nous avons réalisés pour la mesure des débits d'air interzones.

LA CELLULE OPTIBAT

Cette cellule est un logement d'un bâtiment d'habitation collectif, en vrai grandeur, de type F4 à double exposition, de 88m² de surface, conçue sur le principe de préfabrication lourde [2]. CPTIBAT est en fait le module de base d'un ensemble d'immeubles situés dans la région de Lyon.

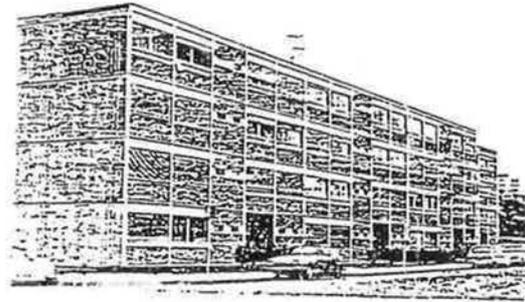


Figure1: Vue générale du bâtiment réel

Cette cellule est configurée comme l'indique la figure 2. Au total, nous avons 9 pièces et l'extérieur

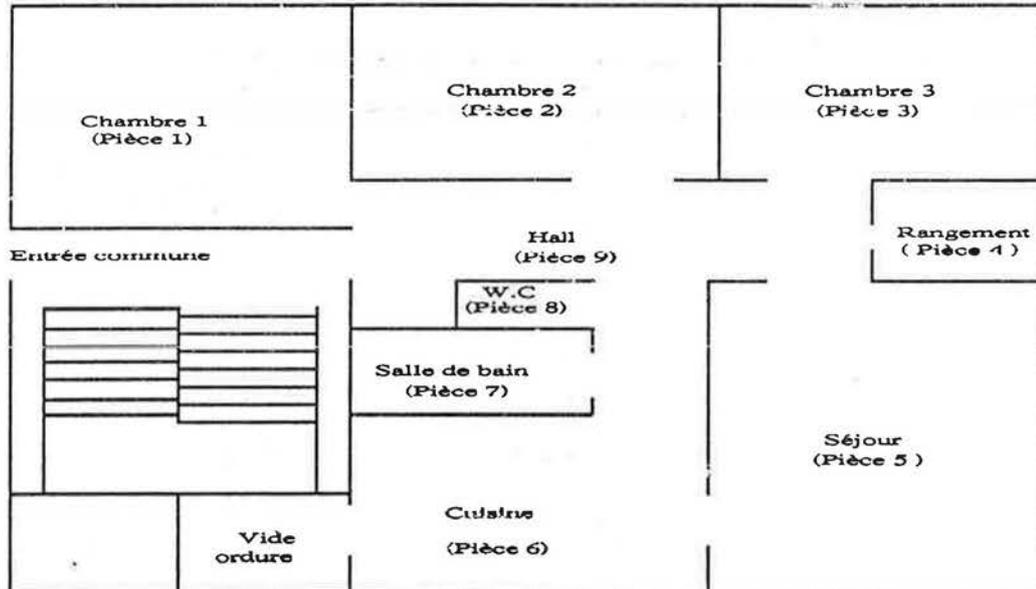


Figure2: les différentes zones aérauliques de la cellule

OPTIBAT est construit dans le hall d'essai du CETHIL et donc protégé des contraintes climatiques. Pour simuler des données climatiques réalistes, des caissons sont apposées sur les façades de l'appartement (figure 3):

- Les caissons 1 et 2 permettent d'appliquer des sollicitations climatiques sur les deux façades principales: ainsi, la température en façade peut varier de -10°C à 30°C, la différence de pression entre les deux façades peut atteindre 200 Pa ce qui correspond à des vents d'environ 70km/h et l'humidité relative peut varier entre 30% et 80%.

- Sur les quatre autres faces de l'appartement, une garde thermique simule la proximité d'appartements adjacents. Dans cette garde, la température et la différence de pression sont aussi régulées à des niveaux compatibles avec ceux rencontrés dans un bâtiment réel.

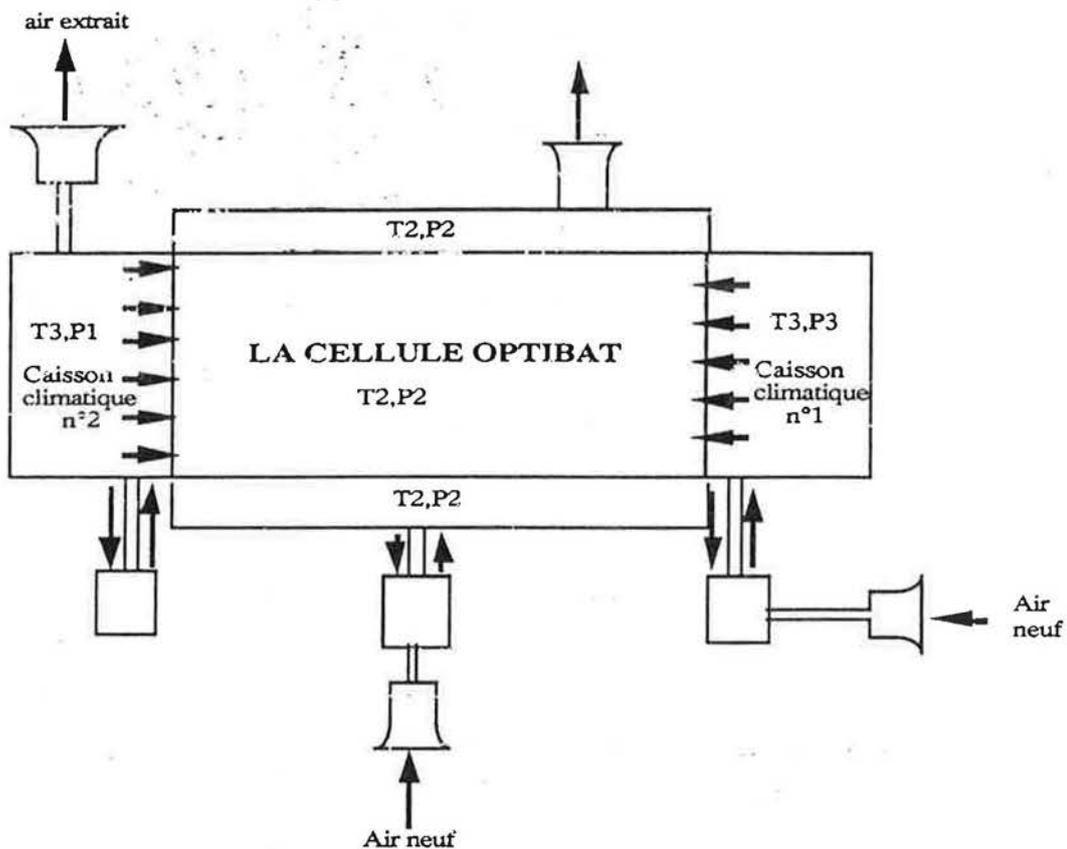


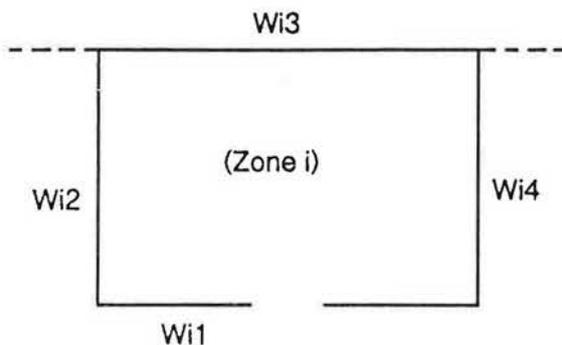
Figure 3: OPTIBAT dans son environnement climatique

CARACTERISATION DES PERMEABILITES INTERZONES

La première phase de cette étude a été consacrée à la détermination des perméabilités à l'air des façades ainsi que celles des éléments séparateurs du volume intérieur (cloisons, portes, ect...).

Après une analyse critique des différentes méthodes de pressurisation[3], la méthode de la zone gardée et la méthode passive ont été choisies et appliquées[4, 5] à la cellule OPTIBAT. Les résultats obtenus par chacune des deux méthodes sont présentés dans les tableaux 1 et 2,. Dans ces tableaux, la paroi W_{ij} représente la paroi numero j de la zone i .

De façon générale, dans chaque zone, les parois sont numérotées de la façon suivante.



Par convention, nous avons numéroté les quatre parois d'une zone dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de la porte. Ainsi, W_{i1} est la paroi numéro 1 de la zone i .

Figure 4: Identification des parois

| Désignation | METHODE ZONE GARDEE | | METHODE PASSIVE | |
|---------------|-------------------------------|--|-----------------|------------|
| | Π (coef. d'écoulement) | K (m ³ /h sous 1 Pa) Coef. de perméabilité | Π | K |
| Paroi W11=W22 | 0.95±0.05 | 0.01±0.02 | 0.90±0.001 | 0.14±0.001 |
| Paroi W31 | 0.71±0.01 | 19.30±0.30 | 0.78±0.05 | 20.22±1.05 |
| Paroi W22 | 0.95±0.05 | 0.01±0.02 | 0.90±0.001 | 0.14±0.001 |
| Paroi W24 | 0.99±0.01 | 0.08±0.02 | 0.87±0.01 | 0.17±0.01 |
| Paroi W31 | 0.66±0.001 | 14.17±0.03 | 0.59±0.004 | 14.94±1.26 |
| Paroi W32=W24 | 0.99±0.01 | 0.08±0.02 | 0.87±0.01 | 0.17±0.01 |
| Paroi W41 | 0.92±0.03 | 2.54±0.22 | 0.84±0.02 | 2.49±0.16 |
| Paroi W42 | 0.66±0.01 | 2.89±0.21 | 0.65±0.01 | 2.97±0.08 |
| Paroi W44 | 0.51±0.002 | 5.48±0.04 | 0.51±0.01 | 5.64±0.02 |
| Paroi W51 | 0.71±0.03 | 14.67±1.54 | 0.76±0.01 | 15.03±0.64 |
| Paroi W54=W62 | 0.64±0.01 | 6.47±0.02 | 0.64±0.001 | 6.29±0.02 |
| Paroi W61=W72 | 0.74±0.05 | 1.76±0.26 | 0.81±0.02 | 1.24±0.21 |
| Paroi W64 | 0.77±0.02 | 1.64±0.06 | 0.69±0.06 | 1.99±0.27 |
| Paroi W71 | 0.89±0.04 | 4.59±0.999 | 0.80±0.02 | 4.83±0.31 |
| Paroi W72 | 0.74±0.05 | 1.76±0.26 | 0.81±0.02 | 1.24±0.21 |
| Paroi W74 | 0.97±0.01 | 0.34±0.01 | 0.97±0.01 | 0.34±0.01 |
| Paroi W81 | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Paroi W82=W74 | 0.97±0.01 | 0.34±0.01 | 0.97±0.01 | 0.34±0.01 |
| Paroi W84 | N.D | N.D | N.D | N.D |

N.D: coefficients non déterminés

Tableau 1: Coefficients de fuite des parois intérieures

| Désignation | METHODE ZONE GARDEE | | METHODE PASSIVE | |
|-------------|-----------------------------|--|-----------------|------------|
| | Π coef. d'écoulement | K (m ³ /h sous 1 Pa) Coef. de perméabilité | Π | K |
| paroi W12 | Paroi étanche | | Paroi étanche | |
| paroi W13 | Paroi étanche | | Paroi étanche | |
| Paroi W14 | 0.59±0.03 | 12.62±1.04 | 0.58±0.02 | 13.43±0.91 |
| Paroi W23 | 0.57±0.02 | 13.93±0.84 | 0.60±0.04 | 11.82±1.4 |
| Paroi W33 | 0.61±0.03 | 9.37±1.15 | 0.55±0.04 | 10.02±1.08 |
| Paroi W34 | Paroi étanche | | | |
| Paroi W43 | Paroi étanche | | | |
| Paroi W52 | Paroi étanche | | | |
| Paroi W53 | 0.55±0.03 | 13.52±1.6 | 0.57±0.01 | 13.34±0.21 |
| Paroi W63 | 0.52±0.05 | 6.79±1.15 | 0.56±0.005 | 5.86±0.02 |
| Paroi W73 | Paroi étanche | | | |
| Paroi W83 | 0.65±0.05 | 3.34±0.59 | 0.59±0.04 | 3.94±0.54 |

Tableau 2: Coefficients de fuite des parois extérieures

Les parois W84 et W81 n'ont pu être étudiées à cause de l'encombrement existant dans le W.C dû au réseau aéraulique. Pour la suite, nous avons rendu étanche ces deux parois.

Conclusions: Même si dans la plupart des cas, les valeurs obtenues ne sont pas rigoureusement égales, les intervalles de confiance correspondants se recouvrent en général, montrant la qualité des mesures effectuées. Cependant, la méthode passive nous paraît plus intéressante car moins onéreuse en investissement financier, facile d'application bien que plus longue et bien que l'identification numérique des coefficients de fuite soient plus sophistiquée. Quant à la méthode de la zone gardée, elle utilise plus d'appareils de mesure et donc plus coûteuse. La difficulté de cette méthode réside dans le contrôle des zéros de différences de pression dont une mauvaise régulation est une source considérable d'erreurs sur les résultats.

ETUDE DE LA DIFFUSION DES POLLUANTS

Le deuxième élément nécessaire pour caler les modèles numériques est la connaissance de l'ensemble des débits interzones. Pour déterminer ces débits interzones, nous utilisons des techniques de gaz traceurs.

- Technique multizone monogaz [6]: un seul gaz traceur est utilisé pour déterminer tous les débits interzones. Ceci est possible grâce à l'installation climatique qui nous permet de répéter un test en maintenant constantes les conditions climatiques.

- Technique multizone multigaz [7]: cette fois, nous utilisons trois gaz traceurs pour déterminer les mêmes débits.

La théorie des gaz traceurs permettant d'interpréter les mesures de concentrations pour en déduire des grandeurs physiques telles que les débits d'air interzones, suppose que la concentration du polluant est homogène dans tout le volume où s'effectuent les mesures. Il est donc important de vérifier en premier lieu cette hypothèse d'homogénéité et voir quel crédit il faut lui accorder. Dans la suite de cet article, nous allons nous intéresser à la vérification de cette hypothèse.

Dans la pratique, on utilise couramment des ventilateurs pour brasser le volume afin d'obtenir un mélange air-gaz homogène. Cependant l'utilisation de ventilateurs modifie les conditions expérimentales notamment les gradients de températures qui induisent eux mêmes des flux d'air. En fait, l'homogénéisation va dépendre des mouvements d'air naturels et/ou artificiels existants, des conditions climatiques en façades notamment du vent, mais surtout du mode d'injection (avec brassage, sans brassage, injection multipoints, ect...)

L'étude de l'homogénéité de la concentration d'un gaz traceur dans une zone consiste à suivre l'évolution de la concentration de ce polluant en tout point. Ce qui est pratiquement impossible à réaliser car aucun appareillage de mesure ne possède un nombre infini de canaux de mesure.

L'appareillage que nous utilisons pour la mesure des concentrations est un système composé d'une unité de dosage/prélèvement et d'une unité d'analyse basé sur l'effet photoacoustique. Ce système ne comportant que 6 canaux de mesure, nous ne pouvons disposer que de 6 points de mesure. Le problème peut donc se résumer à comment placer ces 6 points de mesure de sorte qu'ils soient représentatifs de l'ensemble du volume.

Nous avons donc utilisé la méthodologie de la recherche expérimentale [8] pour déterminer le plan d'expérimentation optimal c'est-à-dire l'emplacement des 6 points correspondant à la matrice d'expérience dont le conditionnement est minimum. La figure 5 présente le plan expérimental obtenu.

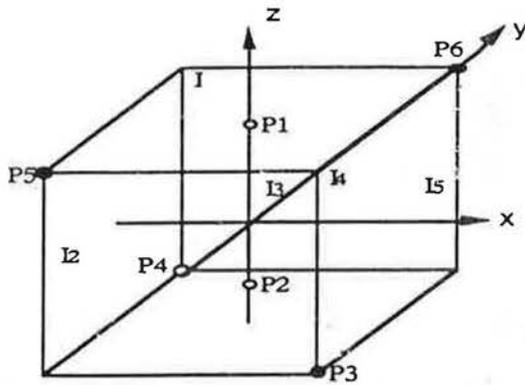


Figure 5: plan expérimental

Le plan expérimental ci-contre montre l'emplacement des points de mesure P_i et du point d'injection dans le volume de mesure dont les sommets sont à environ 10 cm des parois.

C'est le plan expérimental dont la matrice d'expérience a le plus petit nombre de conditionnement égal à 1.00 (minimum absolu). C'est donc ce plan que nous utilisons pour effectuer l'étude d'homogénéité. L'injection se fait au point I. Les points I_j ($j=2$ à 5) sont les 4 autres points d'injection dans le cas où le mode d'injection multipoints est utilisé.

Procédure expérimentale

Avant chaque essai le bâtiment est purgé de sorte qu'il n'y ait plus de trace de polluant aux différents points de mesure. Pour ce faire, on ouvre les fenêtres et on utilise le système de ventilation de l'installation pour évacuer le polluant loin d'OPTIBAT. Des mesures de la concentration aux 6 points sont alors effectuées jusqu'à ce que la concentration en ces points soit inférieure à 10^{-2} ppm. Les fenêtres sont ensuite fermées et on attend pendant trois heures que le régime permanent soit réétabli. Les caissons ainsi que l'intérieur de la cellule sont maintenus à 20°C .

Outre la concentration aux 6 points de mesure, la température en divers points et à différentes hauteurs est mesurée durant chaque essai. Ceci nous informera sur l'apparition ou non de gradients de températures. Les différences de pression dans la pièce et en façade sont mesurées pour vérifier aussi que le régime est resté établi tout au long de l'essai.

L'étude de diffusion du traceur dans la zone 2 est effectuée sous deux régimes de vent (65 km/h et 5 km/h nul). Pour chacun de ces régimes, nous étudions l'influence de trois modes d'injection sur l'homogénéisation du mélange air-traceur. Le gaz utilisé est l'hexafluore de soufre (SF_6) injecté à concentration constante.

Injection sans brassage: le SF_6 est injecté au point I à concentration constante et le volume de la pièce n'est pas brassé. Puis on mesure la concentration du polluant au cours du temps aux 6 points de mesure.

Injection avec brassage: devant le point d'injection (point I), nous avons installé un petit ventilateur de 2 l/s, du type de ceux qui sont installés dans les appareils électroniques. Ce qui permet de brasser immédiatement le gaz à sa sortie du tube d'injection sans perturber outre mesure l'écoulement de l'air dans la pièce.

Injection multipoint: au point I, à l'extrémité du tube d'injection, nous utilisons des raccords en Té pour obtenir 4 autres points d'injection (I_j) comme l'indique la figure 5.

Les résultats de ces différentes mesures sont présentés figure 6-a et 6-b. Nous remarquons que lorsque le vent en façade est faible de l'ordre de 5 Km/h (taux de renouvellement d'air de 0.3 vol/h voir tableau 3) et lorsque le volume de mesure n'est pas brassé, il est impossible d'obtenir une homogénéisation parfaite du volume:

- Dans le cas où nous utilisons un seul point d'injection, les courbes décrivant l'évolution de la concentration aux 6 points de mesure sont assez distinctes (fig 6-a, injection sans brassage), lorsqu'on augmente le nombre de point d'injection à 5, l'homogénéisation du mélange air-polluant s'améliore et donc les courbes sont beaucoup plus resserrées. (fig 6-a, injection multipoints).

Par contre l'utilisation d'un petit ventilateur placé juste devant le point d'injection assure parfaitement l'homogénéisation de la concentration dans tout le volume: toutes les courbes sont confondues. (fig 6-a, injection avec brassage)

Quelque soit le régime du vent en façade, l'utilisation d'un petit ventilateur assure un parfait mélange air-polluant.

Dans le cas où le ventilateur n'est pas utilisé, la répartition de plusieurs points d'injection améliore l'homogénéisation mais pas suffisamment pour que le volume soit considéré comme parfaitement homogène. Pour la suite de notre étude, nous allons donc utiliser le mode d'injection avec brassage bien que le petit ventilateur utilisé modifie légèrement les conditions expérimentales.

CONCLUSION

Pour constituer une base de données nécessaire pour la validation des codes de prédiction numérique, nous avons tout d'abord déterminé les perméabilités interzones en utilisant deux méthodes de pressurisation: la méthode de la zone gardée et la méthode passive qui donnent des résultats concordants.

Ensuite, des travaux préliminaires nécessaires pour réaliser les mesures de débits interzones par des techniques de gaz traceurs nous ont permis de vérifier l'hypothèse d'homogénéité de la concentration d'un gaz dans un volume de mesure pour trois modes d'injection et pour deux régimes de vent. Cette hypothèse est parfaitement satisfaite lorsqu'on utilise le mode d'injection avec brassage. C'est donc ce mode d'injection que nous utilisons actuellement pour déterminer les débits interzones: nous utilisons d'abord un seul gaz (SF₆). Puis trois gaz dont le SF₆, le N₂O et le R22 seront utilisés pour déterminer les mêmes débits et ceci pour différentes configurations climatiques. Les résultats de ces mesures seront disponibles en Octobre prochain et seront l'objet de publications.

REMERCIEMENTS:

Nous remercions l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), l'Agence Régionale ainsi que la Région Rhône-Alpes.

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] F. ALLARD, V. DORER, H. FEUSTEL, M. GROSSO, M. HERRLIN, L.MINGSHENG, H. PHAFF, H. YOSHINO, Technical Note AIVC 29. Fundamentals of the multizone air flow model-COMIS, May 1990
- [2] F.ALLARD, J.BRAU, C.INARD, Thermal experiments of full-scale dwelling cells in artificial climatic conditions, Energy and buildings, n°10, 1987.
- [3] F.AMARA, P.DEPECKER, G.GUARRACINO, Expérimentation de laboratoire pour l'étude et la mesure des transferts aérauliques dans le bâtiment: phase 1 détermination des perméabilités interzones, Séminaire du GEVRA Mars 1991 Lyon France
- [4] PETER WOUTERS, LUC VANDAELE, Air leakage measurement method, Belgian Building Research Institute juin 1990
- [5] J. M. FÜRBRINGER, C. ROECKER, C. ROULET, The use of a guarded zone pressurisation technique to measure air flow perméabilité of a multi-zone building, 9th AIVC conférence, Gent, Belgium, 12-15 September 1988.
- [6] C.-A.ROULET, R. COMPAGNON, J.-M.FÜRBRINGER, M.JAKOB, Mesure d'échanges d'air entre les locaux et avec l'extérieur, Rapport final Projet NEFF 339.2 Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment, E.P.F.L Lausanne
- [7] I'ANSON S.J., IRVIN C., HOWART T., Air flow measurement using 3 tracer gases, Building and environment Vol 17, n°4, 1982
- [8] ROGER PHAN-TAN-LUU, DIDIER MATHIEU, Ecole Européenne de méthodologie de la recherche expérimentale, Vol. 1 et Vol.2, 26-31 Mars 1991 Marseille, France