



DE L'INSTITUT TECHNIQUE
DU BATIMENT
ET DES TRAVAUX PUBLICS

N° 526 - SEPTEMBRE 1994

SÉRIE : ÉQUIPEMENT TECHNIQUE 118

ÉTUDE NUMÉRIQUE et EXPÉRIMENTALE de la VENTILATION NATURELLE dans les BÂTIMENTS MULTIZONES

Ahmed Chérif MEGRI, Gilbert ACHARD

*École Supérieure d'Ingénieurs de Chambéry
Université de Savoie, LGCH*

Francis ALLARD

DGCM, Université de La Rochelle, LEPTAB

ÉTUDE NUMÉRIQUE et EXPÉRIMENTALE de la VENTILATION NATURELLE dans les BÂTIMENTS MULTIZONES

Une revue des codes numériques permettant de prédire le comportement des bâtiments multizones montre nettement la difficulté qu'il y a à les évaluer par manque de données expérimentales fiables.

Après une brève description des méthodes de caractérisation de la perméabilité les plus répandues, la présente publication décrit une méthode dite passive, basée sur la définition de scénarii liés à la morphologie du bâtiment. Cette méthode est testée et évaluée sur deux bâtiments réels. Les résultats fournis montrent toute la qualité de la démarche utilisée.

Dans un deuxième temps, une étude de sensibilité avec le code Comven, développé dans le cadre du projet international Comis, nous a permis d'identifier les paramètres importants qui conditionnent les transferts aérauliques dans les bâtiments multizones en ventilation naturelle. D'autre part, une étude comparative des résultats expérimentaux et numériques, fournis pour ces derniers par le code Comven, constitue une première étape dans le processus de validation de ce code ainsi que le remplacement des manipulations expérimentales très coûteuses par des outils de simulation de qualité.

ÉTUDE NUMÉRIQUE et EXPÉRIMENTALE de la VENTILATION NATURELLE dans les BÂTIMENTS MULTIZONES

Ahmed Chérif MEGRI, Gilbert ACHARD, Francis ALLARD

NOMENCLATURE

C_0, C_2, C_4, C_A	perméabilités des parois [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Pa}^N)$]	r	coefficient de corrélation linéaire
n	nombre de mesures relatives à un seul composant	$S^2_{\ln(C_A)}$	variance par rapport au coefficient C_A
C_p	coefficient de pression	$S^2_{N_A}$	variance par rapport au coefficient N_A
N_0, N_2, N_4, N_A	exposant de la loi de puissance, variant selon le type d'écoulement	t	valeur de Student ou de Laplace-Gauss correspondant à la variance résiduelle S^2_r . Les valeurs de t sont tabulées
P_e	pression extérieure [Pa]	$\Delta P, \Delta P', \Delta P''$	différence de pression à travers un composant aéraulique
P_i, P_A	pressions des zones i et A respectivement [Pa]		
Q_1, Q_2	débits volumiques à travers les composants aérauliques pour la mesure 1 et 2 respectivement [m^3/s]		

1. INTRODUCTION

La fiabilité des résultats obtenus par les codes de calcul est conditionnée par la qualité de l'information constituant leurs données. Dans une revue récente des codes de calcul des transferts aérauliques multizones réalisée dans le cadre du projet *Comis* (Conjunction Of Multizone Infiltration Specialists) [1] à [3] il apparaît très nettement une lacune importante relative à l'évaluation de ces modèles vis-à-vis d'expérimentations de qualité. Aucun des codes multizones actuellement développés n'a fait l'objet d'une réelle validation. L'évolution récente des codes de calcul est donc plus liée à la puissance croissante des outils de calcul disponibles qu'à une qualité accrue vis-à-vis de la physique des phénomènes et de la confrontation à des expérimentations de référence. En effet, peu de données expérimentales sont actuellement disponibles [4], [5] car la carac-

térisation des bâtiments vis-à-vis de leur comportement aéraulique multizone demande un investissement important quant au développement de nouvelles techniques de mesure et de leur évaluation.

Un effort important est actuellement consenti au niveau international pour pallier ce manque et, récemment, diverses méthodes de mesure ont fait l'objet de développements et d'évaluations [5]. Notre travail s'insère dans cette démarche générale de mise au point d'une technique expérimentale et d'évaluation de celle-ci sur des cas réels, dans le but de tester le code multizone développé dans le cadre du projet international *Comis* baptisé *Comven* [6].

Comven est un logiciel de modélisation-simulation, dédié à l'étude des phénomènes aérauliques et la qualité

de l'air dans les bâtiments multizones. Il intègre l'ensemble des connaissances disponibles dans ce domaine et constituera ainsi un code de référence. Actuellement, son développement qui comprend l'intégration de nouveaux modèles, sa validation et le développement d'une interface conviviale, se poursuit dans le cadre de l'annexe 23 de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) [2].

Après une brève description des méthodes les plus répandues de caractérisation expérimentale des perméabilités des bâtiments multizones, nous avons choisi une méthode dite passive, basée sur la définition de scénarii d'ouverture et de fermeture des ouvrants liés à la morphologie du bâtiment considéré. Celle-ci est évaluée sur deux bâtiments réels, le premier à climat réel *Radon*

House et le deuxième à climat simulé *Optibat*, où les résultats des caractéristiques de parois et des composants vis-à-vis des transferts aérauliques obtenus ont été introduits dans le code *Comven*. D'une part, les débits massiques obtenus sur *Optibat* ont été comparés à ceux mesurés à l'aide de la méthode des gaz traceurs [1], [7]. Par ailleurs, une étude de sensibilité par le code *Comven* sur le bâtiment *Radon House* nous a permis de traiter l'influence des différents moteurs de la ventilation naturelle à savoir le vent et le tirage thermique sur les caractéristiques de ce bâtiment multizone. Cette étude a permis de montrer l'insuffisance des modèles monozones et la nécessité de la ventilation mécanique pour améliorer la ventilation dans les bâtiments [8].

2. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE et MÉTHODES de MESURE

L'air traverse l'enveloppe du bâtiment non seulement par les passages prévus à cet effet tels que les extracteurs et les bouches, mais aussi par les nombreuses voies involontaires qui peuvent apparaître pendant la construction du bâtiment, à savoir les défauts d'étanchéité au niveau des liaisons entre éléments et les défauts de fabrication des éléments préfabriqués où se créent au cours du temps des fissures dues aux effets mécaniques [9]. Les mesures expérimentales effectuées montrent que les défauts d'étanchéité en maison individuelle entraînent des infiltrations en moyenne plus importantes que les entrées d'air spécifiques [1]. Généralement, le débit volumique de l'air traversant une fissure est exprimé par une loi de type puissance qui relie la différence de pression à travers la paroi au débit par l'intermédiaire de deux coefficients C et N , sous la forme suivante :

$$Q = C (\Delta P)^N \quad (1)$$

Dans le but d'analyser les mouvements interzones, on a besoin de connaître la distribution de la perméabilité sur l'enveloppe du bâtiment. Principalement, on distingue deux types de méthode expérimentales fréquemment utilisées pour la détermination des caractéristiques aérauliques des bâtiments multizones à savoir la méthode active et la méthode passive.

2.1. Méthode active ou méthode de la zone gardée

Les méthodes de mesure en vraie grandeur de la perméabilité à l'air d'un bâtiment en configuration multizone les plus répandues sont basées sur l'élaboration d'une garde en pression autour de la zone ou de la pièce

à caractériser. L'idée essentielle de ces méthodes est d'utiliser un ou deux ventilateurs. Leur rôle est de contrôler activement la différence de pression à travers un composant particulier ou un groupe de composants en créant une surpression ou une dépression. Dans la plupart des cas, ce contrôle actif vise à obtenir une différence de pression nulle à travers le (les) composant(s) [10]-[12]. Ces ventilateurs sont placés sur un panneau à l'endroit d'une ouverture prévue pour une porte ou une fenêtre : c'est le système de la fausse porte. Une parfaite étanchéité doit prévaloir entre le panneau et l'ouverture afin d'éviter une perméabilité supplémentaire. Evidemment, selon l'importance de l'étanchéité des parois, le débit d'air nécessaire à maintenir une différence de pression constante sera lui aussi plus ou moins grand.

La figure 1 donne un exemple de configuration où une seule mesure est nécessaire. Un système de fausse porte est installé dans l'ouverture de la porte de la pièce (pièce A) où se trouve l'élément à étudier (paroi extérieure de la pièce A). Un deuxième système de fausse porte est installé dans la porte d'entrée du bâtiment. La méthode consiste à pressuriser la pièce A à l'aide du ventilateur dont on mesure le débit Q_2 tout en annulant la différence de pression à travers la paroi entre les zones A et B à l'aide d'un second système de fausse porte qui fournit un débit Q_1 . Le débit volumique mesuré Q_2 s'écrit :

$$Q_2 = C_2 (\Delta P)^{N_2} \quad (2)$$

En revanche, la figure 2 est un exemple de configuration à 2 mesures. En ouvrant et en fermant les portes et fenêtres des pièces (dans notre cas la porte et la fenêtre de la zone B), il est possible de mesurer les perméabilités des diverses parois.

Fig. 1. — Estimation de la perméabilité du mur extérieur de la zone A (méthode active).

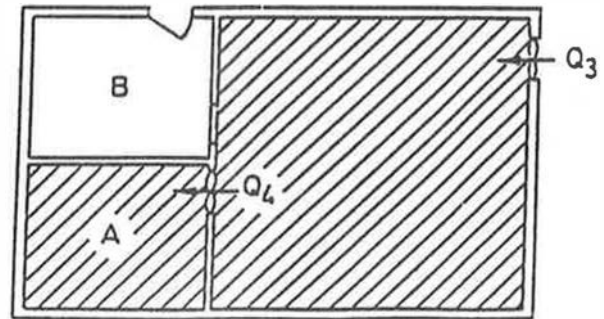
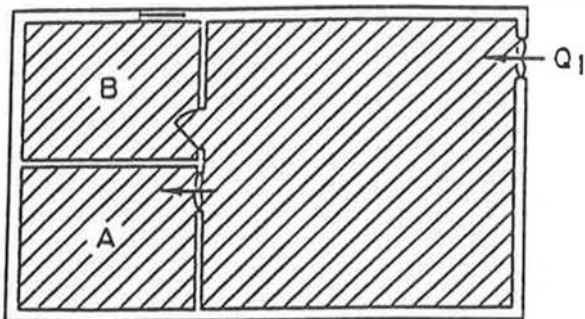
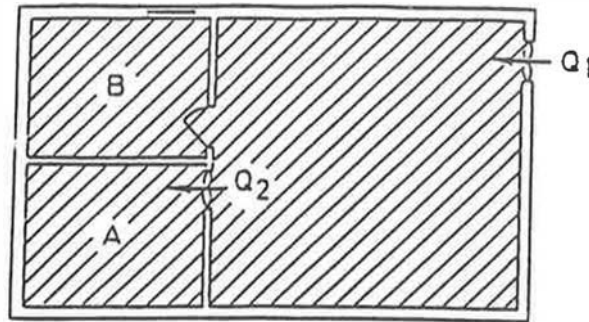


Fig. 2. — Estimation de la perméabilité du mur interne entre A et B (méthode active).

La première mesure donne l'estimation de la perméabilité du mur extérieur de la zone A, on a alors le même débit Q_2 calculé précédemment. Ensuite une seconde mesure permet d'estimer la perméabilité globale du mur intérieur entre les zones A et B et celle de la paroi extérieure de la zone A, calculé comme suit :

$$Q_4 = C_4(\Delta P'')^{N_4} \quad (3)$$

Le résultat $(Q_4 - Q_2)$ est une estimation de la perméabilité du mur intérieur entre les pièces A et B.

$$Q_4 - Q_2 = C_4(\Delta P'')^{N_4} - C_2(\Delta P')^{N_2} \quad (4)$$

La caractérisation des perméabilités interzone ou vis-à-vis de l'extérieur conduit donc à la détermination des paramètres C et N relatifs à chaque paroi ou à chaque composant. Plusieurs démarches sont alors utilisées :

- on suppose le coefficient N connu, une seule mesure (par exemple à $\Delta P = 50$ Pa), permet alors de déterminer le coefficient C (cf. fig. 1 et 2),
- on estime les coefficients C et N , pour améliorer la qualité des résultats. Il est alors nécessaire de répéter les mesures pour plusieurs différences de pression appliquées à chaque composant. C et N sont alors identifiés à l'aide de lois de régression.

Evaluer l'ensemble des couples C et N caractérisant la perméabilité à l'air de chaque paroi par ces méthodes nécessite, en général, un matériel relativement important, pour assurer, d'une part, le maintien en pression de

la garde et, d'autre part, pour réaliser les variations de pression et mesurer les débits. C'est essentiellement pour cette raison qu'une méthode plus simple de mise en œuvre appelée méthode passive a été choisie.

2.2. Méthode passive

Celle-ci est basée sur un suivi passif des différences de pression dans le bâtiment liées à un scénario prédéfini de fermeture ou d'ouverture des ouvrants internes ou externes. Les figures 3 et 4 fournissent un exemple simple d'application. On installe un dispositif de fausse porte à l'entrée de la zone étudiée et on la pressurise (zone B de pression P_i).

Pour la première mesure (fig. 3a), les portes intérieures demeurent ouvertes. Le débit mesuré s'écrit :

$$\begin{aligned} Q_1 &= C_0 \cdot (P_i - P_e)^{N_0} + C_A \cdot (P_i - P_e)^{N_A} \\ &= Q_0 + C_A \cdot \Delta P_1^{N_A} \end{aligned} \quad (5)$$

La mesure 2 (fig. 3b), est réalisée après fermeture de la porte séparant les pièces A et i. Le nouveau débit traversant le ventilateur s'écrit :

$$Q_2 = C_0 \cdot (P_i - P_e)^{N_0} + C_A \cdot (P_A - P_e)^{N_A} = Q_0 + C_A \cdot \Delta P_2^{N_A} \quad (6)$$

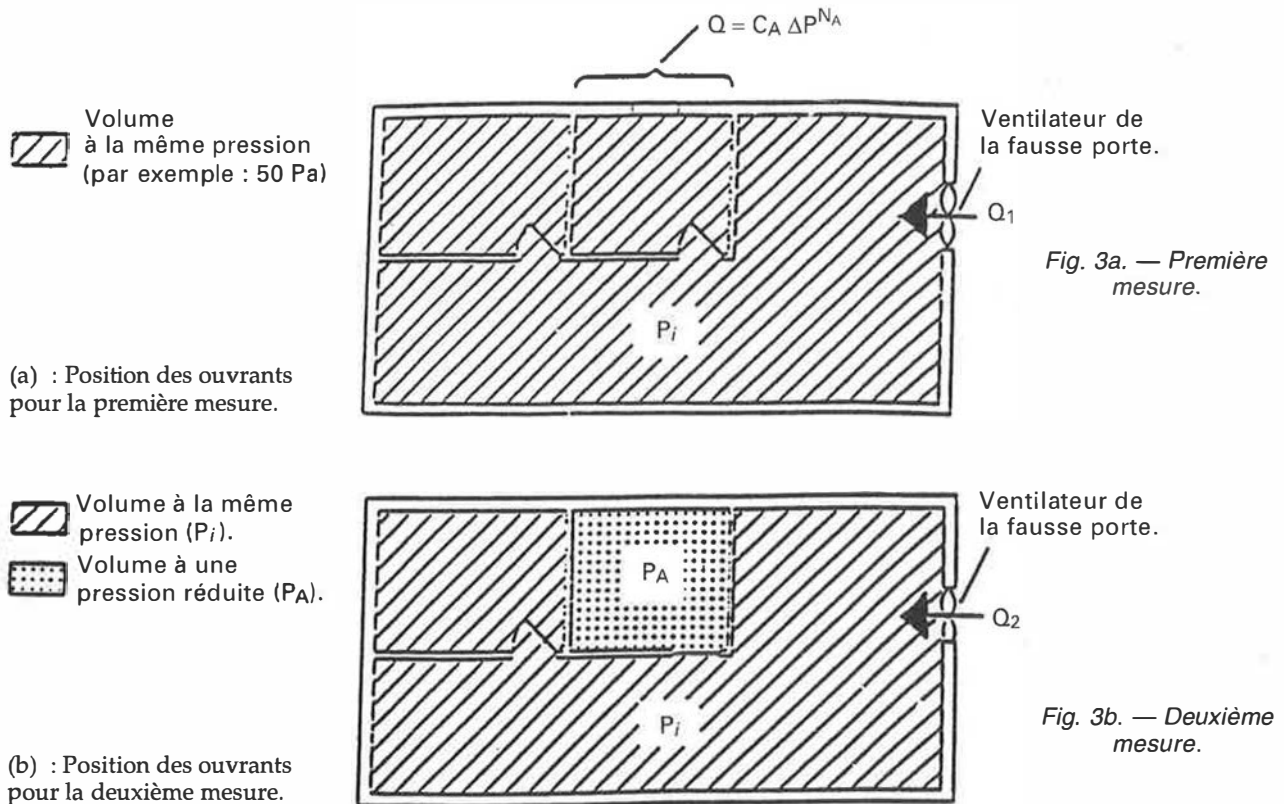


Fig. 3. — Estimation de la perméabilité de la paroi extérieure de la zone A (méthode passive).

D'où, par différence :

$$Q_1 - Q_2 = C_A \cdot ((P_i - P_e)^{N_A} - (P_A - P_e)^{N_A}) = C_A \cdot (\Delta P_1^{N_A} - \Delta P_2^{N_A}) \quad (7)$$

On peut résoudre cette équation par l'estimation du coefficient N_A (exemple $N_A = N_0$), ou bien, en répétant

les mesures pour différentes valeurs de $(P_i - P_e)$ et/ou $(P_A - P_e)$ et estimer ainsi C_A et N_A à l'aide de lois de régression. En général, suivant la morphologie du bâtiment, plusieurs mesures sont nécessaires qui diffèrent par l'ouverture et la fermeture des fenêtres et portes des différentes zones adjacentes.

3. DÉTERMINATION NUMÉRIQUE des COEFFICIENTS C_A et N_A

La détermination des paramètres C_A et N_A caractérisant la perméabilité de chaque paroi ou composant est le premier pas indispensable pour l'établissement d'une base de données expérimentales de qualité. Celle-ci pourra alors être utilisée pour valider les codes numériques de simulation du comportement aérodynamique de bâtiments développés en parallèle.

L'estimation des coefficients C_A et N_A utilise la technique de lissage au sens des moindres carrés qui conduit à l'écriture d'un système de deux équations non linéaires à deux inconnues. Pour le résoudre, on utilise la méthode de Newton généralisée ; on a ainsi à chaque itération un système linéaire à résoudre. De façon à qualifier nos résultats, nous avons proposé une méthode d'analyse et de dépouillement des résultats expérimentaux basée sur l'estimation de la valeur de l'erreur totale

pour encadrer les valeurs exactes des grandeurs mesurées à l'aide des intervalles de confiance sur les coefficients C_A et N_A par des méthodes statistiques et les lois de régressions [1], [12]. Les valeurs de C_A et de N_A sont entachées de différents types d'erreurs, à savoir les erreurs de formulation, de méthode, de calcul, liées au processus expérimental et à l'instrument de mesure, ainsi que les erreurs dues aux grandeurs d'influence [13].

Afin de déterminer les coefficients C_A et N_A , on traitera le cas de la perméabilité globale ainsi que celui de la perméabilité interzone :

- la perméabilité globale est utilisée dans le cas des bâtiments monozones qui donne une estimation de la qualité aérodynamique de l'enveloppe extérieure du bâtiment,

— la perméabilité interzone est utilisée pour la prédiction des écoulements d'air et d'éléments polluants à l'intérieur des bâtiments multizones.

Les tableaux 1 et 2 regroupent l'ensemble des équations utilisées pour le calcul des coefficients C_A et N_A , leurs variances et leurs intervalles de confiance.

TABLEAU 1

Équations utilisées pour le cas de la perméabilité globale [1].

Variance de C_A	$S_{\ln(C_A)}^2 = \frac{S_r^2 \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\Delta P_i)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(\Delta P_i) - \bar{X})^2}$
Variance de N_A	$S_{N_A}^2 = \frac{S_r^2}{\sum_{i=1}^n (\ln(\Delta P_i) - \bar{X})^2}$
Intervalle de confiance de C_A	$C_A \cdot e^{(-t \cdot S_{\ln(C_A)})} < C_A < C_A \cdot e^{(t \cdot S_{\ln(C_A)})}$
Intervalle de confiance de N_A	$N_A - t \cdot S_{N_A} < N_A < N_A + t \cdot S_{N_A}$

Avec :

$$S_r^2 = \frac{n-1}{n-2} S_Q^2 \left(1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n (\ln(\Delta P_i) - \bar{X}) (Q_i - \bar{Y}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (\ln(\Delta P_i) - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Y})^2} \right)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(\Delta P_i)}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(Q_i)}{n}$$

$$S_Q^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Y})^2}{(n-1)}$$

TABLEAU 2

Équations utilisées pour le cas de la perméabilité interzone [1]

C_A	$\ln(C_A) = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(Q_{1i} - Q_{0i})}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(\Delta P_{1i}) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \ln(Q_{2i} - Q_{0i}) - \sum_{i=1}^n \ln(Q_{1i} - Q_{0i}) \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta P_{2i}) - \sum_{i=1}^n \ln(\Delta P_{1i})}$
N_A	$N_A = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(Q_{2i} - Q_{0i}) - \sum_{i=1}^n \ln(Q_{1i} - Q_{0i})}{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{2i}) - \sum_{i=1}^n (\Delta P_{1i})}$
Variance de C_A	$S_{\ln(C_A)}^2 = S_Q^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n \ln(\Delta P_{1i})}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n \ln(\Delta P_{2i}) - \sum_{i=1}^n (\Delta P_{1i}) \right)} + \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{1i})}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n (\Delta P_{2i}) - \sum_{i=1}^n (\Delta P_{1i}) \right)} \right]$
Variance de N_A	$S_{N_A}^2 = \frac{2 \cdot S_Q^2 \cdot N_A}{\left(\sum_{i=1}^n (\Delta P_{2i} - \Delta P_{1i}) \right)^2}$
Intervalle de confiance de C_A	$C_A \cdot e^{(-t \cdot S_{\ln(C_A)})} < C_A < C_A \cdot e^{(t \cdot S_{\ln(C_A)})}$
Intervalle de confiance de N_A	$N_A - t \cdot S_{N_A} < N_A < N_A + t \cdot S_{N_A}$

4. APPLICATION à la RADON HOUSE

Dans le cadre du projet international *Comis*, les essais de perméabilité à l'air ont été effectués au Lawrence Berkeley Laboratory (USA) par F. ALLARD sur une cellule d'habitation appelée *Radon House* constituée de 5 pièces et une cage d'escalier placée sur vide sanitaire (cf. fig. 4). Les valeurs des volumes des zones sont : 52 m³ pour les zones RM1 et RM2, 130, 156, 26, 416 pour les zones RM3, RM4, RM5 et RM6 respectivement. Après analyse de la morphologie du bâtiment, 13 essais ont été nécessaires pour créer l'ensemble des scénarii de champ de pression permettant l'identification des caractéristiques de perméabilité de chaque paroi intérieure ou en contact avec l'extérieur. Pour chaque essai, on a fait varier l'écart de pression entre l'intérieur et l'extérieur de - 60 à + 60 Pa avec un pas

de 10 Pa. Ces essais, dans leur ensemble, ont été réalisés avec des vitesses de vent extérieur inférieures à 50 cm/s, évitant ainsi l'effet de la grandeur perturbatrice la plus gênante qui est le vent.

La méthode expérimentale utilisée nous a permis de déterminer, pour chaque pièce du bâtiment étudié, les perméabilités des parois intérieures et extérieures, conduisant ainsi à la connaissance du débit de l'air pour chaque paroi quel que soit le champ de pression à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment. L'ensemble des résultats obtenus avec leurs intervalles de confiance ainsi que les coefficients de corrélations sont regroupés dans les tableaux 3 et 4.

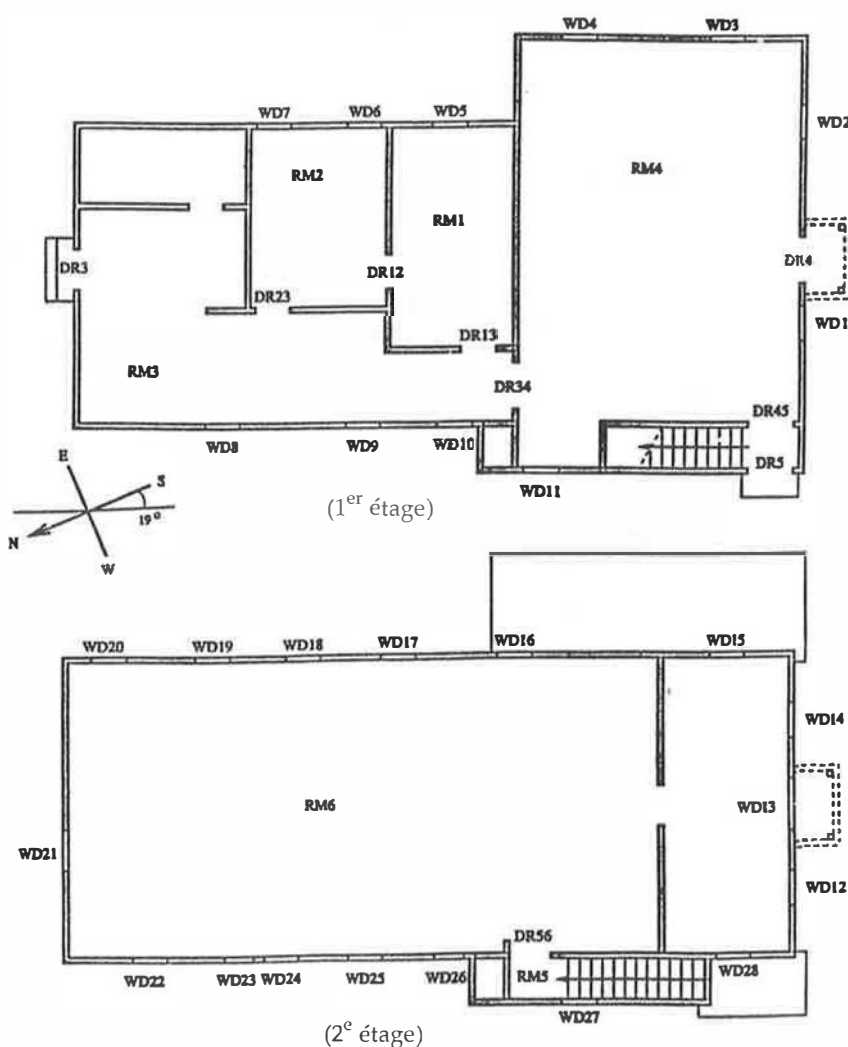


Fig. 4. — Plan du bâtiment Radon House.

TABLEAU 3

Coefficients C_A et N_A pour les différentes parois intérieures
Intervalles de confiance des deux coefficients [1]

Paroi	Coeff. du flux « C » [m ³ /(s. Pa ^N)]	Exposant du flux « N _A »	Coefficient de corrélation
DR23	0,0833 ± 3,5E-4	0,53 ± 5E-4	0,99
RM26	0,0044 ± 1E-4	0,60 ± 0,01	0,99
DR12	0,0691 ± 0,01095	0,54 ± 0,0145	0,99
DR13	0,0860 ± 8E-4	0,53 ± 5E-4	0,99
RM16	0,0044 ± 1E-4	0,60 ± 0,01	0,98
DR34	0,0782 ± 8E-3	0,54 ± 0,02	0,98
RM36	0,0109 ± 1E-3	0,60 ± 0,01	0,99
DR45	0,0744 ± 9,5E-4	0,55 ± 1,5E-3	0,99
RM46	0,0130 ± 2E-3	0,60 ± 0,01	0,99
DR56	0,0784 ± 2,3E-3	0,56 ± 0,04	0,92

TABLEAU 4

Coefficients C_A et N_A pour les différentes parois extérieures.
Intervalles de confiance des deux coefficients [1]

Paroi	Coeff. du flux « C _A » [m ³ /(s.Pa ^N)]	Exposant du flux « N _A »	Coefficient de corrélation
RM1E	0,0055 ± 4E-4	0,78 ± 9E-3	0,94
RM2E	0,1200 ± 1E-3	0,50 ± 1E-3	0,99
RM3E	0,0029 ± 1E-4	0,61 ± 0,019	0,99
RM3N	0,0055 ± 1,3E-4	0,61 ± 0,019	0,99
RM3W	0,0078 ± 1E-4	0,61 ± 0,019	0,99
RM4E	0,0093 ± 1,9E-4	0,51 ± 0,0115	0,98
RM4N	0,0029 ± 1E-4	0,51 ± 0,0115	0,98
RM4W	0,0024 ± 5E-5	0,51 ± 0,0115	0,99
RM4S	0,0122 ± 1E-4	0,51 ± 0,0115	0,99
RM5W	0,0419 ± 1E-3	0,52 ± 9E-3	0,98
RM5S	0,0074 ± 2,85E-3	0,52 ± 9E-3	0,99
RM6E	0,0113 ± 3E-4	0,67 ± 2,85E-3	0,99
RM6N	0,0046 ± 3E-4	0,67 ± 0,011	0,99
RM6W	0,0074 ± 1,8E-4	0,67 ± 0,011	0,98
RM6S	0,0046 ± 1E-4	0,67 ± 0,011	0,98
RM6R	0,0347 ± 1,8E-3	0,67 ± 0,011	0,99

Notations :

Dans la notation « DRij » et « RMij », les « DR » représentent les portes intérieures tandis que les « RM » représentent les parois. Les valeurs *i* et *j* représentent les numéros des zones. Dans le cas où *j* n'est pas un chiffre, il représente une direction (N : nord, S : sud, W : ouest, E : est, R : toiture) (cf. fig. 4).

La perméabilité de la toiture est beaucoup plus grande que celle des parois intérieures et extérieures (à l'exception de la paroi RM2E). Pour les composants à liaison, on constate que la perméabilité est maximale pour les portes intérieures et minimale pour les liaisons entre parois. Les parois intérieures sont plus perméables que les parois extérieures.

Les valeurs des perméabilités mesurées étant importantes, les valeurs de l'exposant N comprises ici entre 0,50 et 0,78 correspondent bien à la réalité physique d'ouvertures de grande section géométrique. La répartition de la perméabilité n'est pas uniforme, par exemple la paroi extérieure de la zone RM2 est 20 fois plus perméable que la paroi extérieure de la zone RM1. Ceci montre que l'utilisation des résultats de la littérature (normes et recommandations) peuvent provoquer des erreurs importantes pour l'estimation des débits traversant les différents composants et que faire l'hypothèse d'une répartition uniforme s'avère peu réaliste car les défauts d'étanchéité sont très localisés.

Les faibles valeurs des intervalles de confiance obtenues ainsi que les coefficients de corrélation très proches de 1 montrent toute la qualité des expérimentations réalisées, et la bonne cohérence du modèle de représentation choisi.

La qualité des résultats obtenus, et la facilité de mise en œuvre de cette méthode en font un outil fiable et prometteur pour la caractérisation de la perméabilité à l'air de bâtiments multizones.

4.1. Étude de sensibilité sur la maison *Radon House*

Une étude de sensibilité est très compliquée à réaliser expérimentalement en raison des nombreuses difficultés qu'on peut rencontrer en pratique [14]. Le programme

Comven nous a permis de faire une telle étude, sur le bâtiment multizone *Radon House*. Ce bâtiment ne possède aucun système de ventilation. Les voies aérauliques qui relient les différentes zones du bâtiment entre elles et à leur environnement extérieur sont des liens de type fissures. Ces défauts de perméabilité sont représentés par les coefficients C_A et N_A obtenus expérimentalement pour chaque paroi intérieure et extérieure et pour chaque porte intérieure.

On s'intéressera par la suite au renouvellement d'air extérieur. Le débit de renouvellement d'air extérieur est défini comme l'air entrant dans la zone directement de l'extérieur sans passer par d'autres zones. On définit habituellement le taux horaire de renouvellement d'air extérieur d'une zone comme le rapport entre le débit volumique provenant de l'extérieur et le volume total de la zone. Dans notre cas (ventilation naturelle), le renouvellement d'air extérieur caractérise les infiltrations d'air à travers l'enveloppe extérieure du bâtiment.

4.1.1. Conditions aux limites

On considère une journée d'hiver typique, dont les conditions climatiques sont représentées dans le tableau 5. Les coefficients de pression sont donnés par le tableau 6.

TABLEAU 5
Données d'une journée d'hiver typique

Conditions climatiques	Valeur par défaut
Température des zones intérieures	+ 20 °C
Température de la cage d'escalier	+ 18 °C
Température extérieure	+ 5 °C
Pression atmosphérique	101,3 kPa
Vitesse du vent	1 m/s
Direction du vent	ouest
Humidité relative intérieure	60 %
Humidité relative extérieure	80 %
Rugosité du terrain (α)	0,32
Coefficients de pression Cp	voir tableau 6

TABLEAU 6
Les valeurs de Cp pour chaque façade relative à la *Radon House*

Direction du vent	0°	90°	180°	270°
Façade sud	- 0,45	- 0,50	0,60	- 0,50
Façade est	- 0,50	0,60	- 0,50	- 0,45
Façade nord	0,60	- 0,50	- 0,45	- 0,50
Façade ouest	- 0,50	- 0,45	- 0,50	0,60
Toiture	- 0,50	- 0,50	- 0,50	- 0,50

D'autre part, on considère quatre jeux de données représentatifs de quatre types de climat :

- climat de référence (1) : dont les caractéristiques sont données dans le tableau 5,
- climat à vent dominant (2) : mêmes données que le climat de référence avec une vitesse du vent de 8 m/s,
- climat (3) : mêmes données que le climat de référence avec une température extérieure de 20 °C,
- climat à tirage thermique dominant (4) : même climat que celui du tableau 5, avec une température extérieure de - 10 °C.

En premier lieu, on étudie le bâtiment sous les conditions climatiques de référence. Par la suite, deux directions de vent seront étudiées (Est et Ouest) et on détaillera l'analyse des courbes pour la direction Ouest. Les courbes obtenues pour la direction Est sont, quant à elles, présentées parallèlement : les différences qu'on peut observer entre les résultats relatifs aux deux directions caractérisent l'opportunité de l'utilisation d'un modèle multizone. La forte perméabilité de l'enveloppe a pour conséquence une forte influence des conditions climatiques sur les débits.

Les valeurs des débits d'infiltrations varient de 0,1314 kg/h à 75,24 kg/h pour les parois intérieures et de 0,25 kg/h à 102,24 kg/h pour les parois extérieures. Certaines zones ne sont pas bien alimentées en air extérieur. Le débit est mal contrôlé dans la maison, car les débits d'air extérieur supposés neufs sont très mal répartis, c'est un des grands défauts de la ventilation naturelle.

Un débit d'air important passe de l'extérieur vers l'intérieur par la cage d'escalier. Ce débit alimente ensuite les deux zones RM4 et RM6 essentiellement (72 % du débit vers la zone RM6 et 22 % du débit vers la zone RM4 et le reste ressort vers l'extérieur par la façade sud), et il y a un court-circuit entre l'extérieur et la zone RM6 : ceci vient du fait que les perméabilités des parois intérieures sont élevées par rapport à celles des parois extérieures, excepté pour la paroi de la cage d'escalier exposée au vent. La cage d'escalier joue ainsi le rôle d'une conduite d'extraction. Les débits sortant des zones RM1 et RM2 transitent vers l'intérieur, alors que les zones RM3, RM4 et RM6 possèdent une exfiltration.

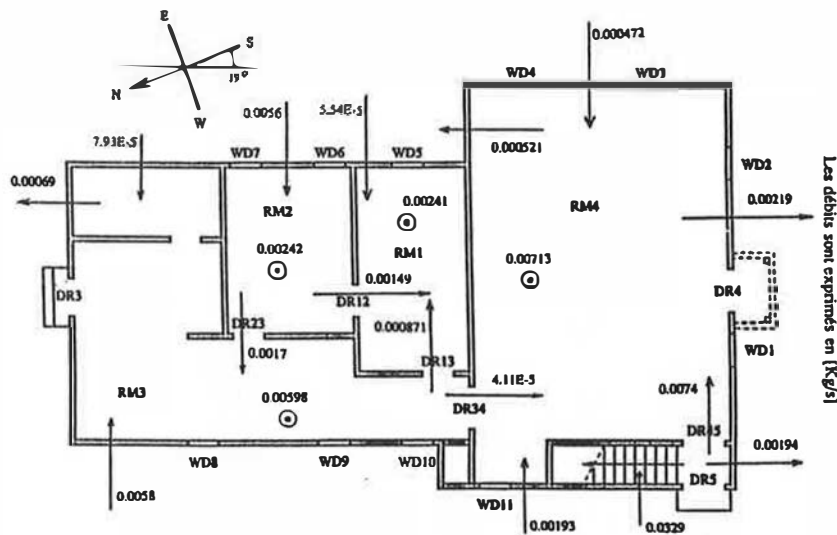


Fig. 5. — Répartition des débits dans les zones et à travers les parois (1^{er} étage).

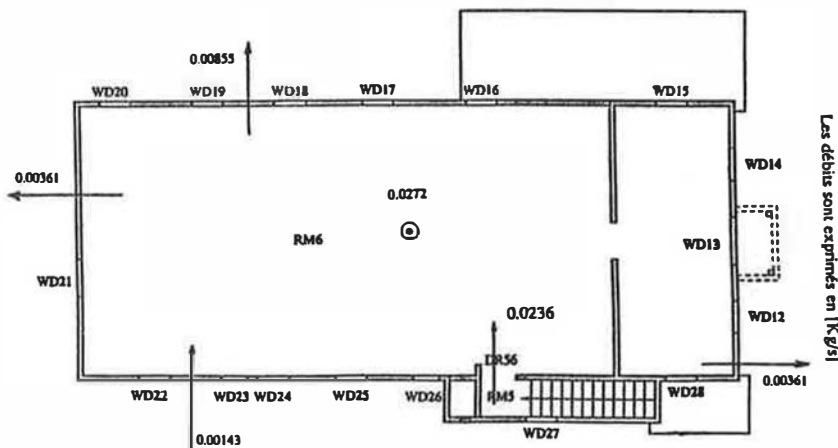


Fig. 6. — Répartition des débits dans les zones et à travers les parois (2^e étage).

Les notions de taux horaire de renouvellement d'air extérieur et de taux total coïncident pour un bâtiment monozone. Par contre, pour un bâtiment multizone comme c'est le cas ici (cas de climat de référence 1, direction du vent : est), on remarque qu'il y a parfois une grande différence entre elles. Les zones RM1 (à 2,5 % près) et RM6 (à 4 % près) sont alimentées presque totalement par de l'air interzonal alors que la zone RM2 est alimentée totalement par l'air extérieur. Par contre, les zones RM3 (23,5 % d'air interzonal et 76,5 % d'air extérieur) et RM4 (77 % d'air interzonal et 23 % d'air extérieur), qui se trouvent dans une situation intermédiaire sont alimentées en partie par de l'air extérieur et en partie par de l'air provenant d'autres zones (cf. fig. 7). Ceci montre que la répartition des perméabilités des parois et la localisation des défauts jouent un rôle important dans la distribution des débits dans un bâtiment multizone et ont des conséquences significatives au niveau de la qualité de la ventilation.

pour les différentes zones atteint des valeurs très importantes qui dépassent largement les valeurs souhaitées en ventilation mécanique contrôlée et ceci pour des vitesses de vent élevées. Ce constat est contraire avec l'objectif de la ventilation mécanique contrôlée qui consiste à réduire l'influence des conditions climatiques (vitesse du vent et tirage thermique) sur la ventilation d'un bâtiment. La figure 9 montre que pour une direction Est du vent, la zone RM1 ne reçoit pas d'air extérieur quelle que soit la vitesse du vent. La répartition du débit extérieur n'est donc pas équitable.

La figure 10 représente le cas où la température extérieure est de 20 °C. A cette température, les effets de tirage thermique s'annulent. Malgré le fait que la zone RM1 est exposé au vent, le taux horaire de renouvellement d'air extérieur de la zone RM3 (cas où la direction du vent Ouest) est légèrement supérieur à celui de la zone RM1. On impute cela à la grande surface exté-

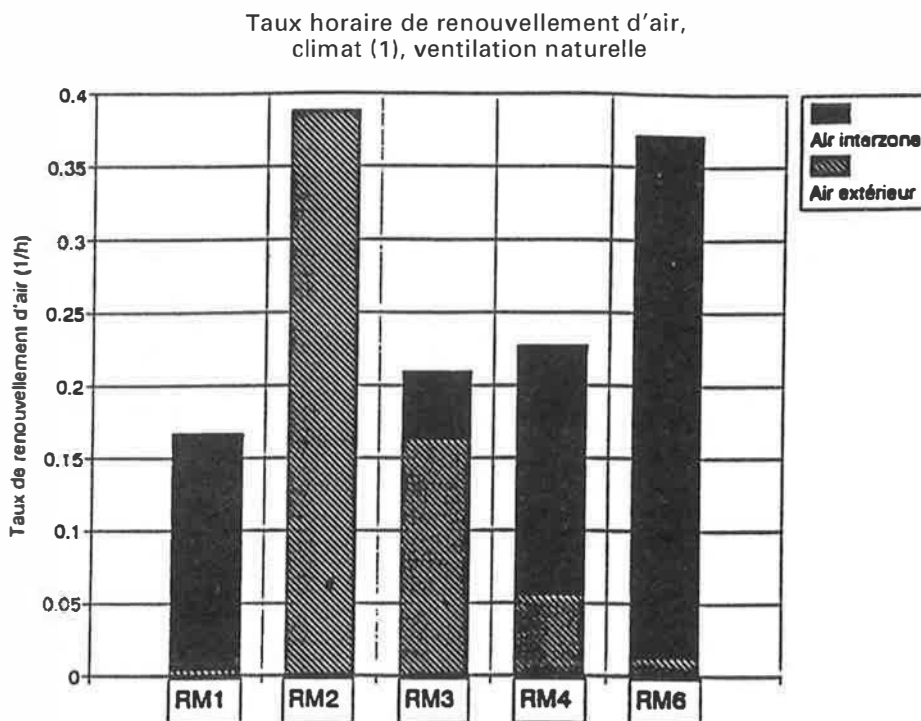


Fig. 7. — Renouvellement d'air extérieur et total.

4.1.2. Influence de la vitesse, direction du vent et tirage thermique sur les infiltrations

La variation du taux de renouvellement d'air pour différentes vitesses du vent (direction du vent : Ouest) est représentée par la figure 8. L'effet du vent reste dominant pour le cas de la ventilation naturelle. L'effet du tirage thermique est important pour les faibles vitesses. Le taux horaire de renouvellement d'air extérieur

rieure de la zone RM3 et à la faible perméabilité de la paroi extérieure de la zone RM1. Pour une vitesse du vent nulle, on constate que les débits d'infiltration extérieure sont presque nuls, ce débit résiduel est dû à la différence des valeurs des humidités relatives entre l'intérieur et l'extérieur. En effet, l'humidité de l'air agit sur la masse volumique et intervient par l'intermédiaire du tirage thermique comme un élément moteur dans le processus des transferts aérauliques et surtout pour la zone RM6 située dans le deuxième étage. Cependant, son importance reste tout de même limitée ou nulle pour les autres zones.

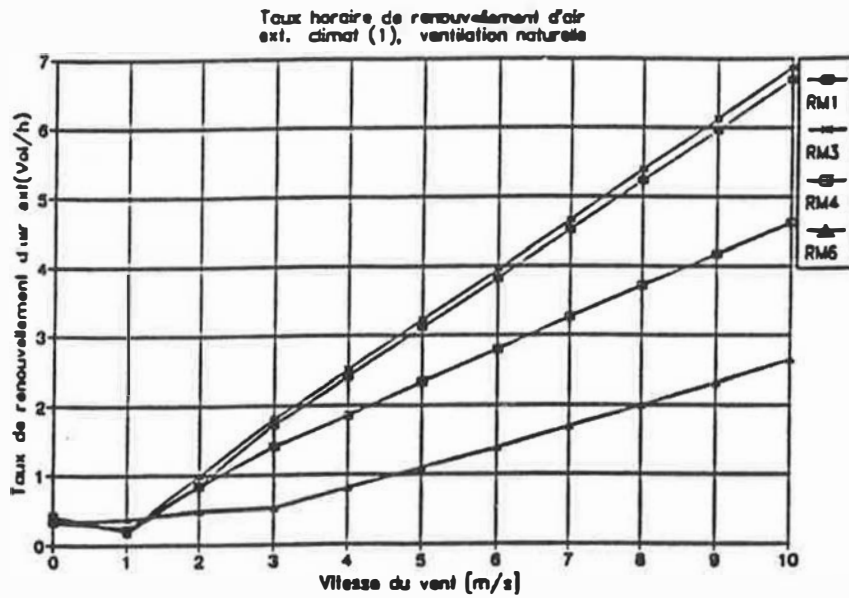


Fig. 8. — Influence de la vitesse du vent pour $t_{\text{ext}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (vent de direction Ouest).

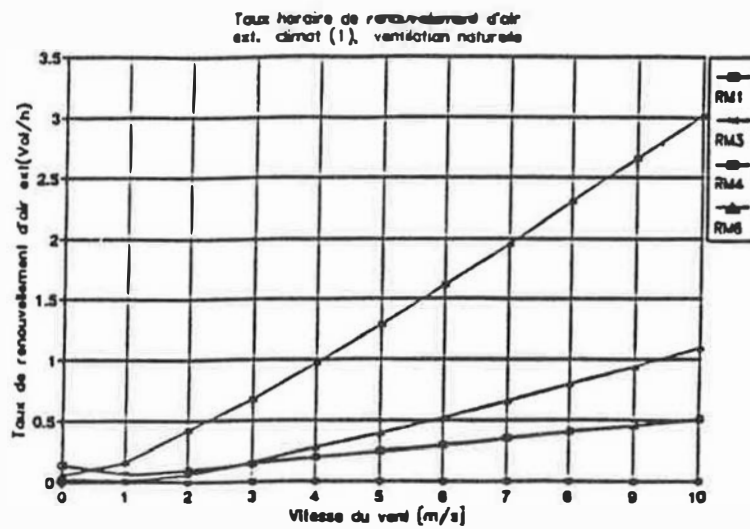


Fig. 9. — Influence de la vitesse du vent pour $t_{\text{ext}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (vent de direction Est).

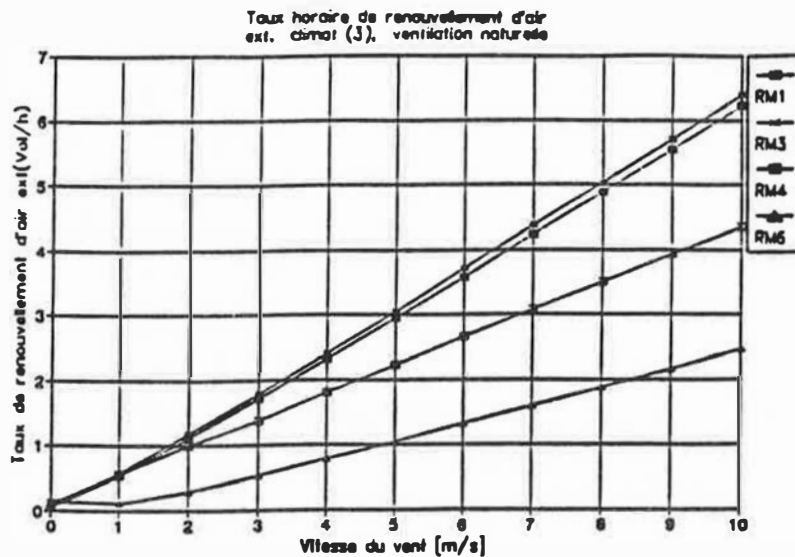


Fig. 10. — Influence de la vitesse du vent pour $t_{\text{ext}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, vent de direction Ouest.

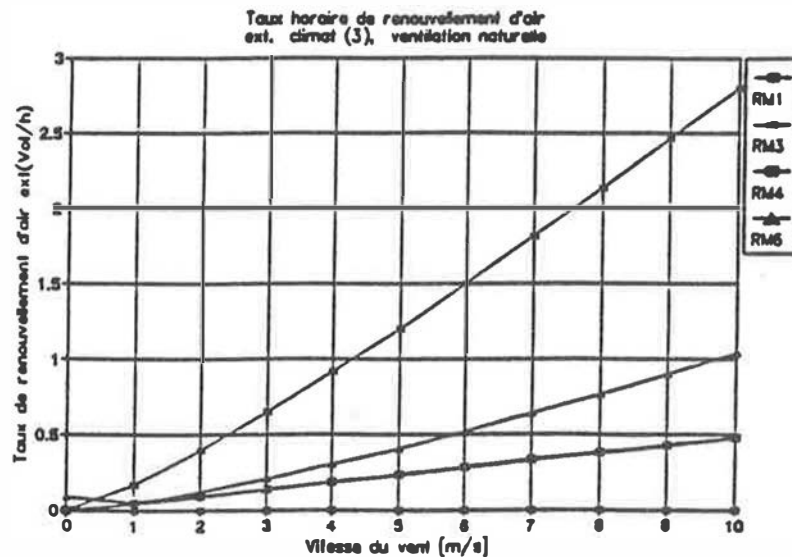


Fig. 11. — Influence de la vitesse du vent
pour $t_{\text{ext}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, vent de direction Est.

La figure 12 représente le cas où la température extérieure est de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. On a un couplage de l'effet du vent avec celui du tirage thermique. L'effet de ce dernier est assez élevé en raison de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. On constate que les courbes possèdent deux parties distinctes : une pour laquelle le tirage thermique domine (domaine à faible vitesse de vent), et une deuxième partie où le vent prédomine. Pour la zone RM6 située au deuxième étage, à vitesse de vent nulle, l'effet du tirage thermique reste

faible comparé aux autres zones en raison de la grande différence de hauteur. Pour une direction de vent Est, le taux de renouvellement d'air de la zone RM1 diminue avec l'augmentation de la vitesse du vent. Ceci est dû au fait que l'effet du vent agit dans le sens inverse de celui du tirage thermique (cf. fig. 13).

Le débit de renouvellement d'air extérieur est plus stable en fonction de la température, alors qu'il est très instable par rapport à la vitesse du vent relativement au climat de référence (cf. fig. 14-17).

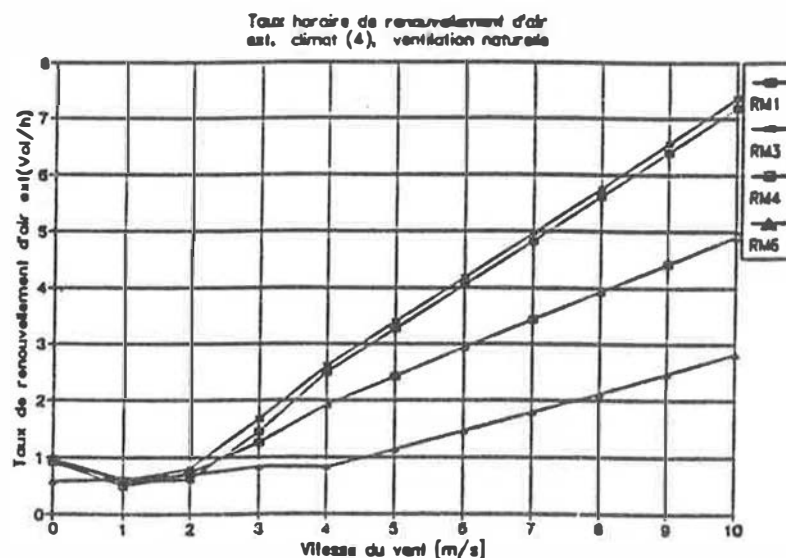


Fig. 12. — Influence de la vitesse du vent
pour $t_{\text{ext}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$, vent de direction Ouest.

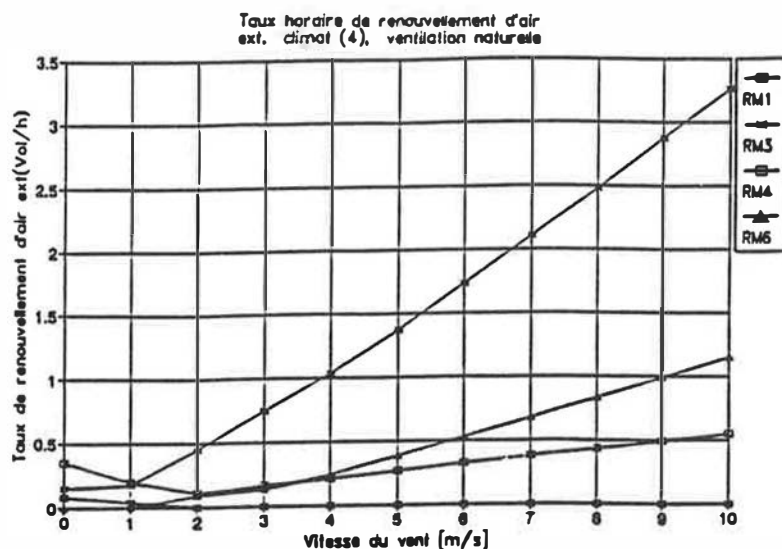


Fig. 13. — Influence de la vitesse du vent pour $t_{ext} = -10^\circ\text{C}$, vent de direction Est.

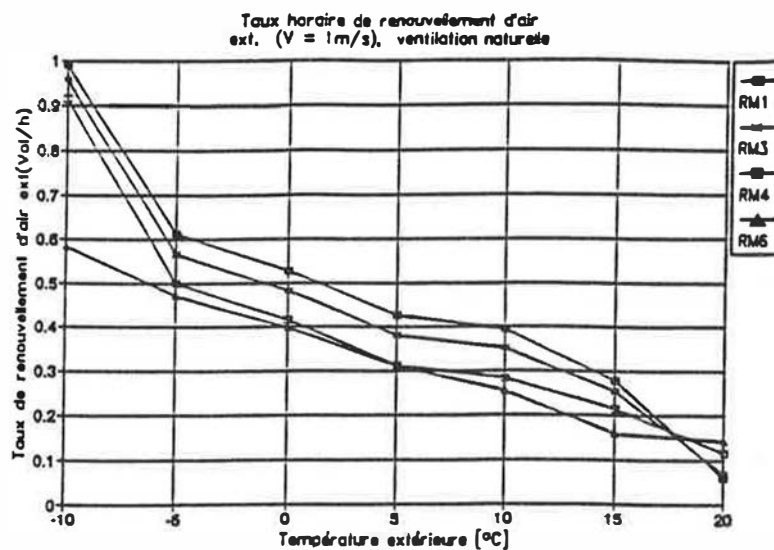


Fig. 14. — Influence de la température extérieure pour une vitesse du vent de 1 m/s, vent de direction Ouest.

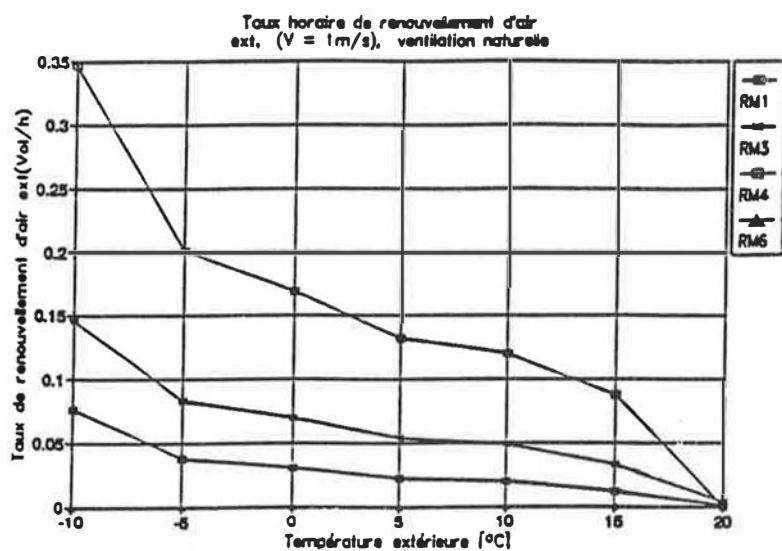


Fig. 15. — Influence de la température extérieure pour une vitesse du vent de 1 m/s, vent de direction Est.

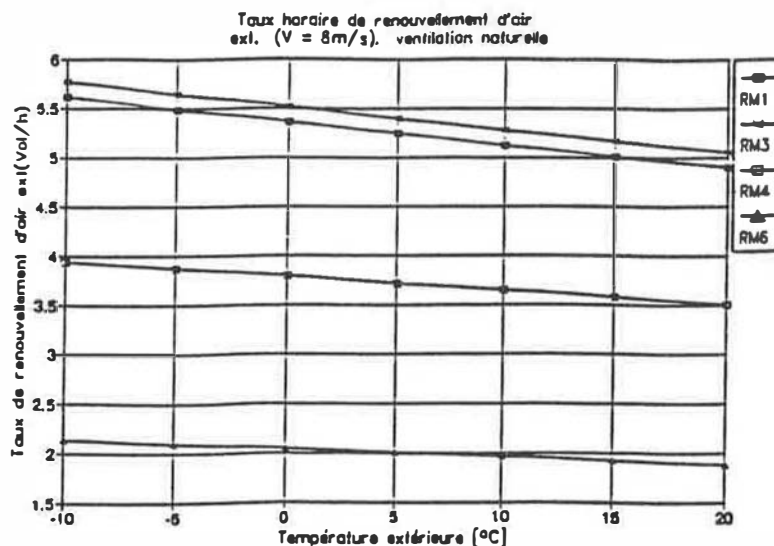


Fig. 16. — Influence de la température extérieure pour une vitesse du vent de 8 m/s, vent de direction Ouest.

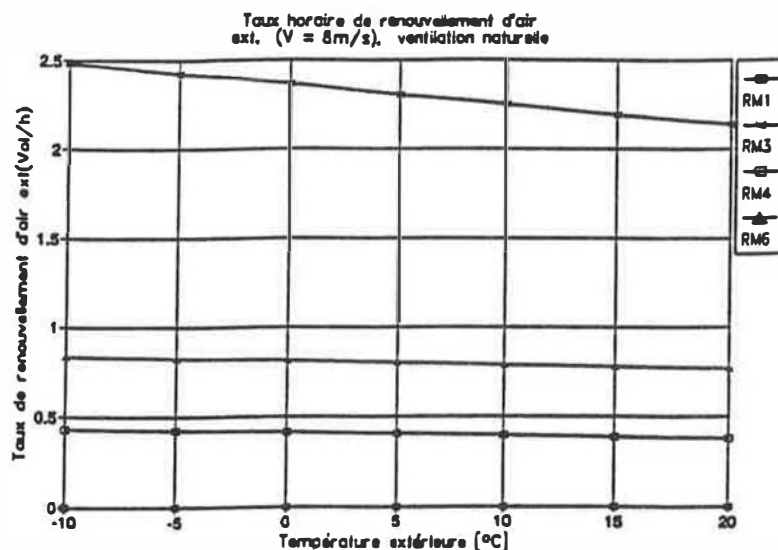


Fig. 17. — Influence de la température extérieure pour une vitesse du vent de 8 m/s, vent de direction Est.

4.1.3. Étude des débits d'air dans la cage d'escalier

Suivant la direction du vent (Est ou Ouest), le taux horaire de renouvellement d'air extérieur dans la cage d'escalier varie considérablement (plus de 100 % d'écart dans le cas du climat (1), avec un vent de 10 m/s). En effet cette zone particulière joue un rôle déterminant dans la répartition des transferts aérodynamiques entre les différentes zones du fait de :

- sa faible température par rapport aux autres zones intérieures,
- la forte perméabilité de ses parois extérieures,

- sa grande surface extérieure relativement à son volume,
- et de sa forte élévation.

Pour bien voir comment évolue la valeur du débit pour les différentes parois de cette zone, on étudie le cas où la cage d'escalier est soumise à deux températures différentes (18 °C et 10 °C), dans le cas du climat (1). Le débit entre la cage d'escalier et les zones du premier étage augmente avec la vitesse du vent dans le cas où la température est de 10 °C, du fait de l'augmentation du tirage thermique. Par contre, le débit entre la cage d'escalier et la zone RM6 du 2^e étage change de direction suivant la température de la cage d'escalier. Les figures 18 à 21 donnent les valeurs des débits entre la cage d'escalier et les zones adjacentes pour différentes vitesses du vent.

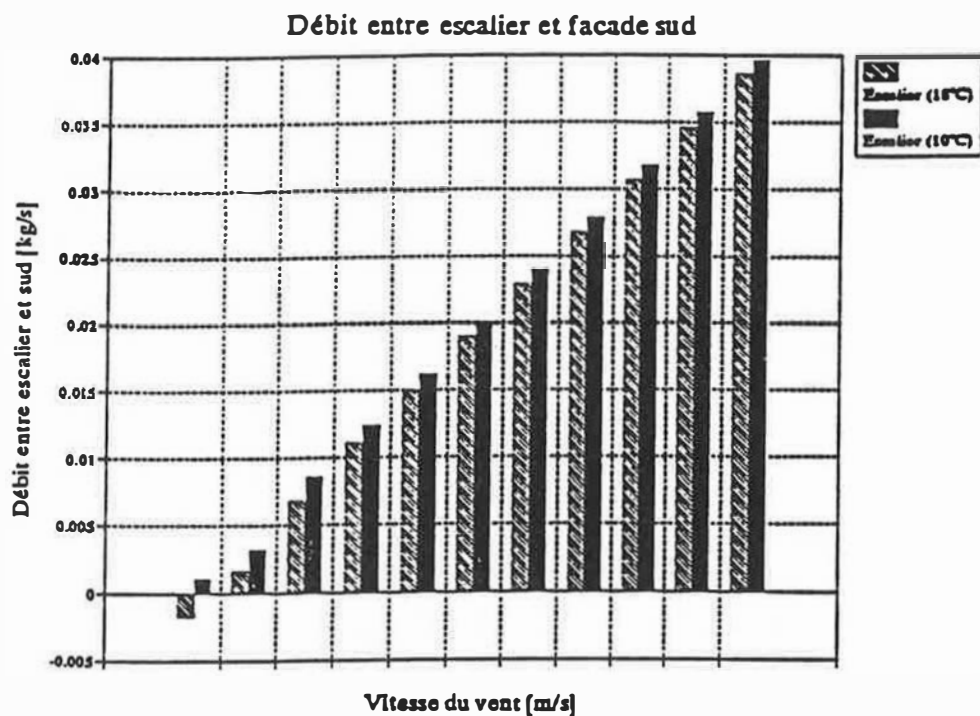


Fig. 18. — Influence de la vitesse du vent et de la température dans la cage d'escalier sur le débit entre l'escalier et la façade sud.

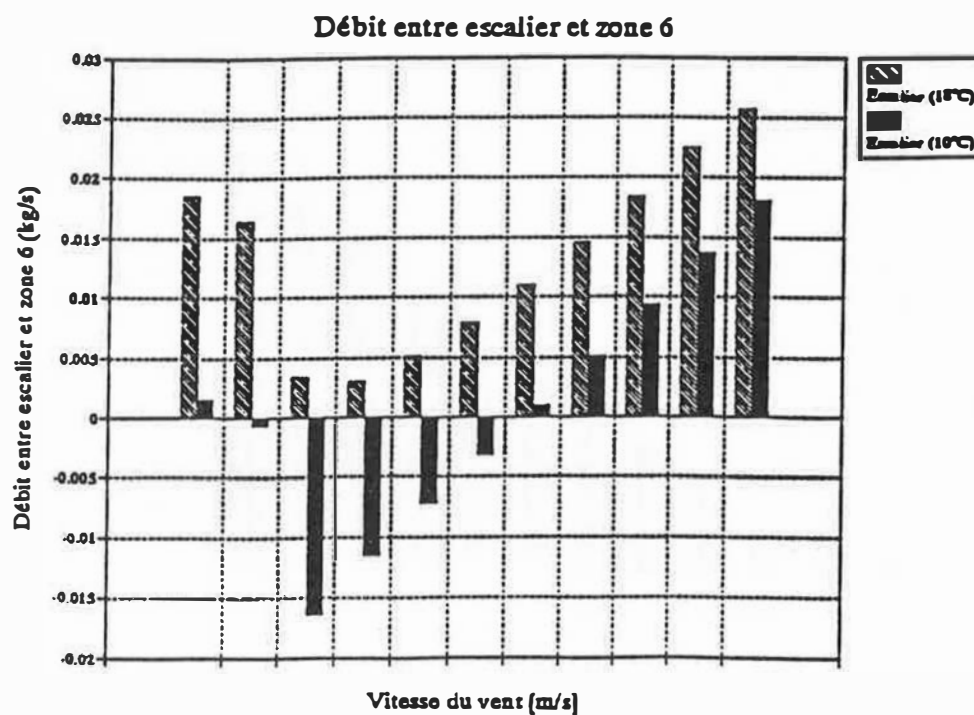


Fig. 19. — Influence de la vitesse du vent et de la température dans la cage d'escalier sur le débit entre l'escalier et la zone 6.

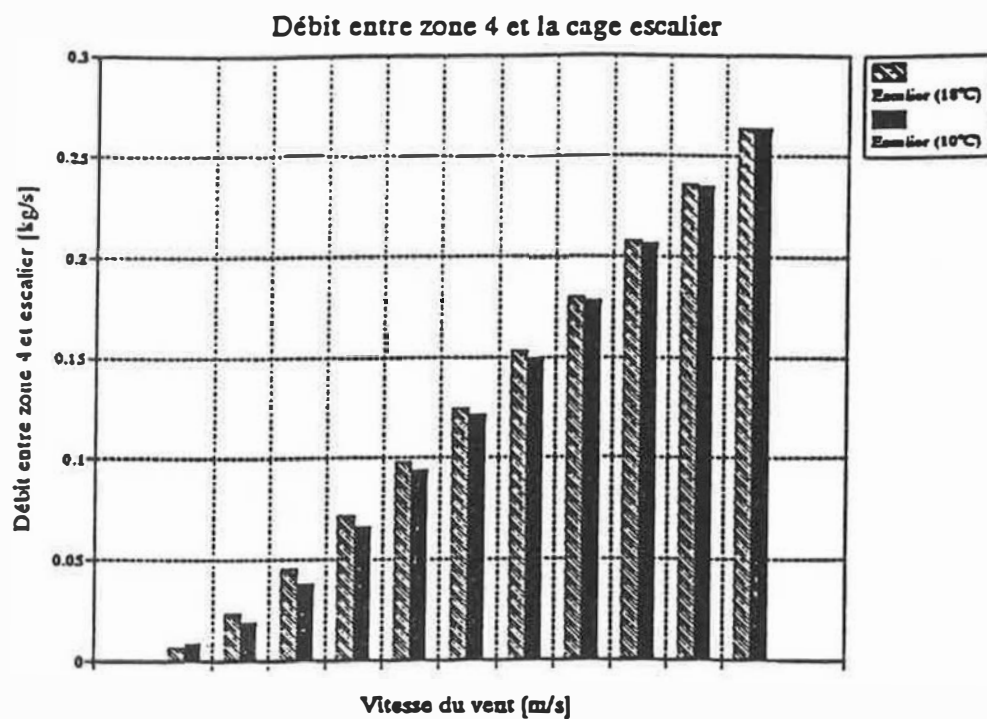


Fig. 20. — Influence de la vitesse du vent et de la température dans la cage d'escalier sur le débit entre l'escalier et la zone 4.

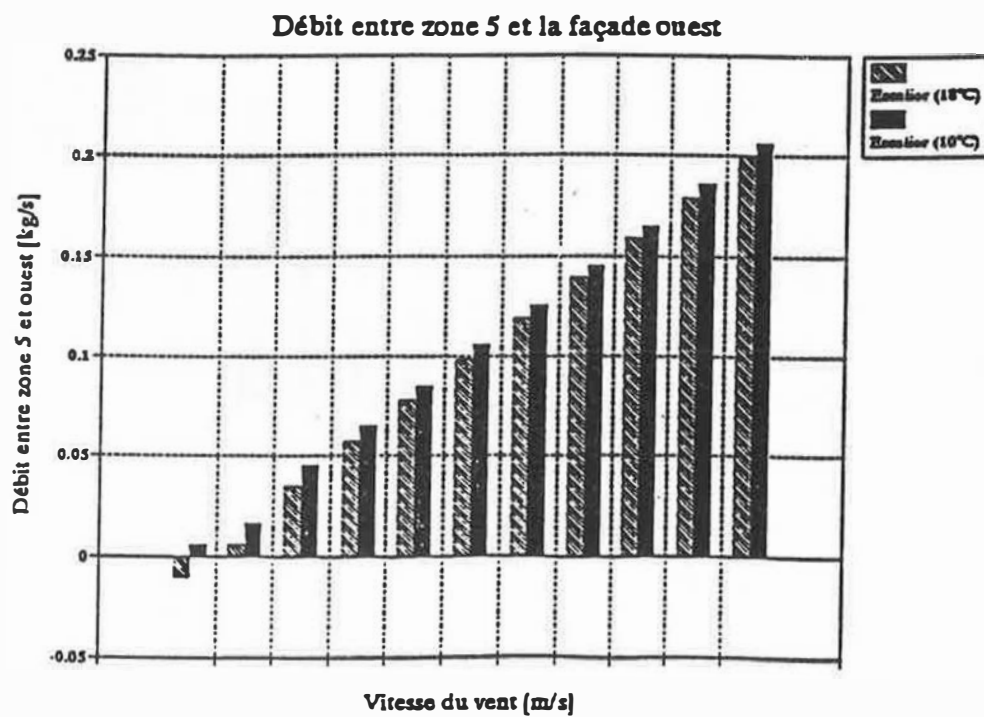


Fig. 21. — Influence de la vitesse du vent et de la température dans la cage d'escalier sur le débit entre la zone 5 et la façade ouest.

5. APPLICATION à la CELLULE OPTIBAT

La deuxième application concerne un appartement réel *Optibat* construit en laboratoire dans le hall d'essai du département Génie Civil et Urbanisme de l'INSA de Lyon (cf. fig. 22), en environnement climatique contrôlé [15].

Afin de créer des conditions climatiques données en façade, deux caissons sont apposés de chaque côté de la cellule contre les façades. L'installation comprend, outre ces deux caissons, un troisième caisson entourant les 4 autres faces et assurant une garde thermique représentant les appartements voisins.

A l'aide de l'installation précédente, les paramètres climatiques qui peuvent être contrôlés dans chacun des deux caissons sont les suivants :

- température d'air (T) : $10\text{ °C} < T < +30\text{ °C}$; de plus, l'écart diurne peut être simulé par des amplitudes de température d'un maximum de 10 °C ,
- pression (P) : la différence de pression maximale entre les caissons peut atteindre 160 Pa, ce qui correspond approximativement à des vents de l'ordre de 60 km/h,
- humidité relative (φ) : $30\% < \varphi < 80\%$.

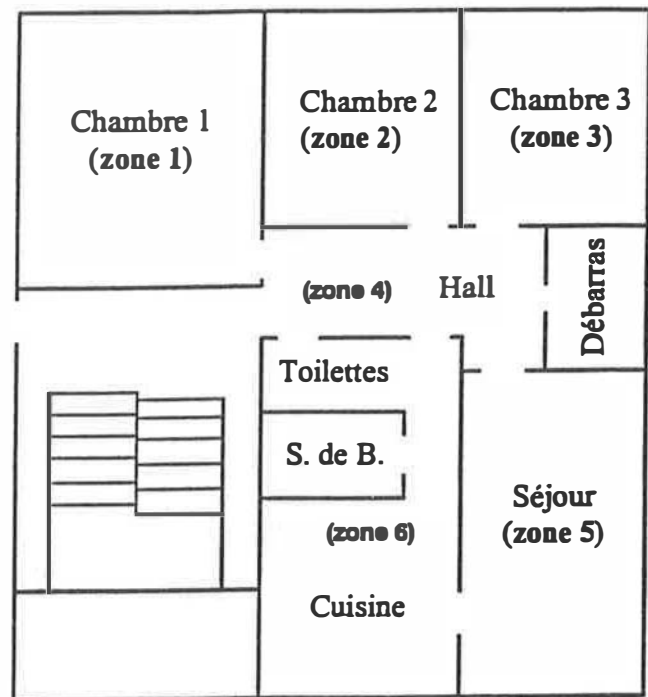


Fig. 22. — Plan du bâtiment *Optibat*

5.1. Conditions expérimentales pour la mesure des perméabilités

La cellule *Optibat* étant dans un environnement protégé (dans un hall d'essai), les relevés ont donc été effectués à vent nul. Les températures, dans les différentes pièces, ont été mesurées à l'aide de thermocouples. Ceci nous a permis de corriger le débit mesuré en fonction de la température. Les prises de pression et les thermocouples ont été placés au centre de chaque pièce et à une hauteur de 1,20 m du sol. Le réseau aéraulique a été obturé.

La méthode de dépouillement des résultats de mesures décrite précédemment a été appliquée pour l'exploitation des résultats expérimentaux réalisées sur *Optibat* (l'étude expérimentale a été menée par F. AMARA [7]), et nous avons obtenu les résultats suivants :

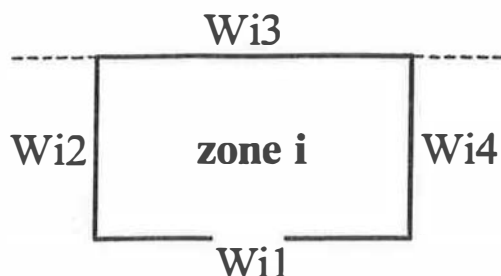


TABLEAU 7

Coefficients C et N pour les différentes parois extérieures. Intervalles de confiance des deux coefficients [1]

Parois	Méthode passive	
	N	C [m ³ /s.Pa ^N]
W12		Paroi étanche
W13		Paroi étanche
W14	0,58 ± 0,02	3,73E-3 ± 2,53E-4
W23	0,60 ± 0,04	3,28E-3 ± 3,89E-4
W33	0,55 ± 0,04	2,78E-3 ± 3E-4
W34		Paroi étanche
W43	0,92 ± 0,02	8,61E-5 ± 5,55E-6
W52		Paroi étanche
W53	0,57 ± 0,01	3,71E-3 ± 5,83E-5
W63	0,56 ± 0,005	1,63E-3 ± 5,55E-6
W73	1	5E-5 ± 2,78E-6
W83	0,59 ± 0,04	1,09E-3 ± 1,5E-4

On remarque que le bâtiment *Optibat* est moins perméable que la maison *Radon House*, ce qui montre que la perméabilité dépend des techniques et procédés constructifs qui diffèrent beaucoup suivant le contexte. Les coefficients N sont très supérieurs à 0,5.

Par convention, les parois de la pièce i sont numérotées dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre à partir de la paroi comportant la porte. Ainsi, W_{i1} est la paroi numéro 1 de la pièce 1.

TABLEAU 8

Coefficients C et N pour les différentes parois intérieures.
Intervalles de confiance des deux coefficients [1]

Parois	Méthode passive	
	N	C [$\text{m}^3/\text{s.Pa}^N$]
$W_{11} = W_{22}$	$0,90 \pm 0,001$	$3,89\text{E-}5 \pm 2,78\text{E-}7$
W_{21}	$0,78 \pm 0,05$	$5,62\text{E-}3 \pm 2,86\text{E-}4$
W_{22}	$0,90 \pm 0,001$	$3,89\text{E-}5 \pm 2,78\text{E-}7$
W_{24}	$0,87 \pm 0,01$	$4,72\text{E-}5 \pm 2,78\text{E-}6$
W_{31}	$0,59 \pm 0,004$	$4,51\text{E-}3 \pm 3,5\text{E-}4$
$W_{32} = W_{24}$	$0,87 \pm 0,01$	$4,72\text{E-}5 \pm 2,78\text{E-}6$
W_{41}	$0,84 \pm 0,02$	$6,92\text{E-}4 \pm 4,44\text{E-}5$
W_{42}	$0,65 \pm 0,01$	$8,25\text{E-}4 \pm 2,22\text{E-}5$
W_{44}	$0,51 \pm 0,01$	$1,57\text{E-}3 \pm 5,56\text{E-}6$
W_{51}	$0,76 \pm 0,01$	$4,18\text{E-}3 \pm 1,78\text{E-}4$
$W_{54} = W_{62}$	$0,64 \pm 0,001$	$1,75\text{E-}3 \pm 5,56\text{E-}6$
$W_{61} = W_{72}$	$0,81 \pm 0,02$	$3,44\text{E-}4 \pm 5,83\text{E-}5$
W_{64}	$0,69 \pm 0,06$	$5,53\text{E-}4 \pm 7,5\text{E-}5$
W_{71}	$0,80 \pm 0,02$	$1,34\text{E-}3 \pm 8,61\text{E-}5$
W_{72}	$0,81 \pm 0,02$	$3,44\text{E-}4 \pm 5,83\text{E-}5$
W_{74}	$0,97 \pm 0,01$	$9,44\text{E-}5 \pm 2,78\text{E-}6$
$W_{82} = W_{74}$	$0,97 \pm 0,01$	$9,44\text{E-}5 \pm 2,78\text{E-}6$

5.2. Contribution à la validation du code *Comven* avec des résultats expérimentaux

Dans le but de valider le code *Comven*, nous avons comparé les résultats expérimentaux avec ceux donnés par *Comven*, comme indiqué dans l'organigramme suivant :

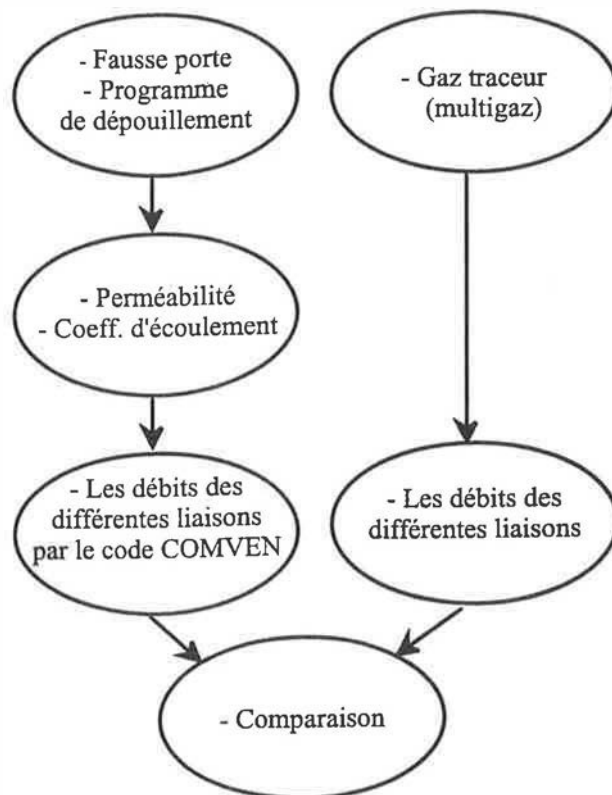


Fig. 23. — Organigramme de la démarche utilisée pour la validation de *Comven* [1].

Dans cette partie, on utilise les résultats concernant les perméabilités obtenus par la méthode expérimentale de la fausse porte (méthode passive) comme des entrées au code *Comven*. Les résultats des débits fournis par ce dernier sont ensuite comparés avec les débits obtenus par la méthode expérimentale des gaz traceurs.

5.3. Description de la méthode des gaz traceurs

On peut distinguer deux types de méthodes :

- *mesure monogaz en régime permanent* : en utilisant l'installation climatique d'*Optibat* et un seul gaz pour déterminer tous les débits en régime permanent. Le gaz utilisé est SF₆ qui est injecté à concentration constante grâce à une régulation PID. La procédure expérimentale est la suivante : en utilisant le tableau de commande, on peut fixer les paramètres climatiques : les différences de

pression en façades, la température extérieure et la température dans chaque zone. Puis, après l'établissement du régime permanent, 6 tests sont alors nécessaires pour déterminer les débits, à raison de 1 test par zone. Chaque test comprend les opérations suivantes :

- injection du SF₆ à concentration constante dans la zone étudiée,
- mesure de la concentration du gaz dans les 6 zones (pendant 3 à 5 heures),
- après les mesures, purge du bâtiment jusqu'à ce que la concentration dans toutes les zones soit négligeable (de l'ordre de 10^{-2} ppm).

Ce test est répété dans les mêmes conditions climatiques dans les 6 zones. Les températures extérieure et intérieure sont égales à 20 °C, la différence de pression ΔP_1 entre le caisson 1 et l'intérieur est égale à 11 Pa et la différence de pression entre le caisson 2 et l'intérieur est de - 111 Pa.

- *mesure multigaz* : le but de ces mesures est de réduire les manipulations en utilisant simultanément trois gaz afin de déterminer les mêmes débits dans des conditions climatiques identiques à celles utilisées pour les mesures monogaz.

Comme précédemment, les conditions climatiques en façades sont fixées au départ. Puis, après l'établissement du régime permanent, deux tests sont alors nécessaires pour déterminer tous les débits interzones. Chaque test comprend les opérations suivantes :

- injection des trois gaz à débit constant dans trois zones. Par exemple : on injecte le SF₆, le N₂O et le R22 respectivement dans les zones 1, 2 et 3,
- mesures des concentrations des trois gaz dans les 6 zones pendant 3 à 4 heures,
- purge du bâtiment pour revenir à des concentrations quasiment nulles,
- répétition du test en injectant les trois gaz dans les trois autres zones.

5.4. Comparaison du code *Comven* avec les résultats de l'expérimentation

Il s'agit de la confrontation des résultats de débits obtenus par le code *Comven* avec ceux obtenus expérimentalement sur *Optibat* [1], [7]. En effet, après la détermination des coefficients de la loi de puissance pour les différentes parois intérieures et extérieures, ces valeurs constituent les entrées de données au code *Comven*. Les conditions climatiques sont celles simulées par les caissons d'*Optibat*. En comparant l'ensemble des résultats, on constate qu'il y a une divergence peu importante dans la plupart des cas. Le tableau 9 représente les débits volumiques [m³/h] fournis par la méthode des gaz traceurs pour la cellule *Optibat*. Le tableau 10 représente les débits volumiques calculés par le code *Comven* pour la cellule *Optibat*.

Il semblerait que, parmi les explications possibles de ces écarts, on puisse évoquer certains effets secondaires liés au dispositif expérimental :

- les moyens expérimentaux dont on dispose sur *Optibat* ne permettent de mesurer qu'un coefficient de pression par façade. En toute rigueur, il faudrait mesurer une valeur de C_p pour chaque défaut d'étanchéité, en particulier dans le cas étudié où le vent est dominant. Il est en effet vraisemblable que la pression sur une façade n'est pas uniforme, en raison du dispositif utilisé pour mettre la façade en pression,
- il a été constaté expérimentalement que les petits ventilateurs qu'on doit utiliser pour assurer l'homogénéisation de la concentration en polluant influencent légèrement les valeurs des débits interzones : ceci s'explique par le fait que ces ventilateurs créent des perturbations surtout dans la zone 4 qui a une géométrie complexe. De ce fait, dans cette zone, l'orientation du ventilateur crée une direction privilégiée de circulation du gaz traceur.

TABLEAU 9
Débits volumiques expérimentaux sur Optibat [m^3/h]

	ext	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5	zone 6
ext	199 ± 11	$48,5 \pm 1,6$	$41,4 \pm 1,8$	$83,9 \pm 2,3$	0 ± 6	$21,2 \pm 2$	$0 \pm 2,2$
zone 1	$0 \pm 4,2$	$48,8 \pm 1,7$	$0,3 \pm 0,5$	0	$57,1 \pm 3,8$	0	0
zone 2	$1,6 \pm 3,9$	$0,2 \pm 0,5$	42 ± 2	$0,3 \pm 0,9$	$39,9 \pm 3,2$	0	0
zone 3	$0,5 \pm 6,4$	0	$0,3 \pm 0,5$	$84,8 \pm 2,6$	84 ± 6	0	0
zone 4	$94,5 \pm 1,1$	$0,2 \pm 0,5$	$0,3 \pm 0,4$	$0,5 \pm 0,8$	$181 \pm 10,4$	30 ± 2	$55,5 \pm 3$
zone 5	$67,4 \pm 4,3$	0	0	0	0 ± 3	$70,1 \pm 2,7$	$2,3 \pm 1,3$
zone 6	$39,4 \pm 4,8$	0	0	0	$0 \pm 2,4$	$18,9 \pm 1,1$	$57,8 \pm 4$

TABLEAU 10
Débits volumiques calculés par le code Comven sur Optibat [m^3/h]

	ext	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5	zone 6
ext	166,2	52,2	44,6	68,4	0	0	1
zone 1	0	51,6	0	0	52,2	0	0
zone 2	0	0	44,1	0,1	44,6	0	0
zone 3	0	0	0	67,4	68,5	0	0
zone 4	36	0	0	0	163	66,6	61,9
zone 5	78,1	0	0	0	0	77	0
zone 6	52,2	0	0	0	0	11,5	62,9

6. CONCLUSION

Dans cette étude, on a traité de la prédiction du comportement aéraulique de bâtiments passifs. En ventilation naturelle, le renouvellement d'air est dépendant des conditions climatiques intérieures et extérieures (température extérieure, vitesse du vent et sa direction): on peut donc avoir des taux horaires de renouvellement d'air très variables qui varient par exemple du simple au double pour deux directions du vent différentes. Dans le cas d'un taux horaire de renouvellement d'air élevé, il est même possible que les principes de ventilation tels que le balayage ne soient pas respectés. Ceci implique une très grande difficulté au niveau du contrôle de la ventilation naturelle.

Cette étude paramétrique d'un bâtiment multizone en condition de ventilation naturelle montre toute la nécessité d'une analyse multizone des transferts aérauliques pour pouvoir les prédire et les analyser correctement. En effet, le rôle des transferts entre zones et plus particulièrement entre la cage d'escalier et les autres pièces apparaît ici comme un élément déterminant du scénario de ventilation de ce bâtiment.

Notre étude de comparaison entre les résultats de Comven et des valeurs expérimentales sur la cellule Optibat montre que, malgré quelques différences ($\pm 10 \%$ dans la plupart des résultats), les résultats obtenus sont plutôt encourageants. Il est bien entendu

impossible, sur une seule comparaison, d'attribuer les écarts observés aux conditions de l'expérimentation ou à des défauts de modélisation des phénomènes physiques, et une étude de sensibilité plus précise doit maintenant être entreprise pour préciser les sources potentielles d'erreurs, aussi bien dans l'expérimentation que dans la modélisation.

Les problèmes liés aux bâtiments actifs munis de leurs réseaux de ventilation qui représentent le cas général amènent une complexité supplémentaire et doivent donc être traités de façon spécifique [8].

7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.C. MEGRI. — « Modélisation des transferts aérauliques dans les bâtiments multizones équipés d'un système de ventilation ; prise en compte de la qualité de l'air », thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, janvier 1993, 303 pages.
- [2] F. ALLARD, V. DORER, H. FEUSTEL, E. GARCIA, R. GROSSO, M. HERRLIN, M. MINGSHENG, H. PHAFF, Y. UTSUMI, H. YOSHINO. — « Fundamentals of the Multizone Air Flow Model - COMIS », Technical note AIVC 29, Great Britain, 115 pages.
- [3] H. FEUSTEL, J. DIERIS. — « A survey of airflow models for multizone structures ». *Energy and Building*, 1992, Volume 18, Number 2, pages 80-96.
- [4] R. PROIX, P. VALTON, R. FAUCONNIER, P. GUILLEMARD, C. TAHON, E. PERRAY. — « Validation expérimentale d'un modèle d'échange d'air multizone », *Promoclim*, pages 29-46, 1988.
- [5] J.M. FURBRINGER, C.A. ROULET, R. COMPAGNON, J.L. SCARTEZZINI. — « Validation de programmes de calcul des échanges d'air à l'aide de mesures expérimentales ». Lausanne : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1990, 150 pages. LESO-EPFL-CH1015.
- [6] C.A. ROULET, L. VANDAELA. — « Air Flow Patterns within Buildings. Measurement Techniques », Technical Note AIVC 34, December 1991.
- [7] F. AMARA. — « Contribution à la caractérisation aéraulique des bâtiments. Etude des transferts aérauliques dans les locaux multizones », thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, avril 1993.
- [8] A.C. MEGRI, G. KRAUSS, G. ACHARD. — « Modélisation des systèmes de ventilation mécaniques associés aux bâtiments multizones », à paraître dans *Revue Générale de Thermique*.
- [9] A. GHADILE. — « Comportement aéraulique des enveloppes de bâtiment : détermination numérique des pressions en façade. Modélisation de la perméabilité à l'air ». Doctorat présenté devant l'INSA de Lyon, 1990, 244 pages.
- [10] P.S. CHARLES WORTH. — « Senior scientist, Air exchange rate and airtightness ». Measurement techniques, an applications guide. AIVC August 1988, Great Britain. Proceedings of the International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, Tokyo, Japon, 22-24 juillet 1992, 20 pages.
- [11] J.M. FURBRINGER, C. ROECKER, C.A. ROULET. — « The use of a guarded zone pressurization technique to measure air flow permeabilities of a multizone building ». 9th AIVC conference, Gent, Belgium, 12-15 September, 1988, pages 33-249.
- [12] A.C. MEGRI, G. KRAUSS, F. ALLARD. — « Détermination expérimentale des perméabilités interzones et vis-à-vis de l'extérieur dans un bâtiment multizone », 5^{es} Journées Internationales de Thermique, Monastir, 22-26 avril 1991, pages 581-588.
- [13] J.M. FURBRINGER, C.A. ROULET. — « Study of the errors occurring in measurement of leakage distribution in buildings by multifan pressurisation ». *Building and Environment*, 1991, Vol. 26, number 2, pages 111-120.
- [14] M.K. HERRLIN. — « Air-flow studies in multizone buildings, Models and applications », Swedish Council for Building Research, department of building services engineering, SWEDEN, L.B.L. Berkley, September 1992, 210 pages. Final report for bfr project.
- [15] M. GERY, J.M. PALLIER, J. BRAU. — « Programme et méthodologie des essais pour le contrôle du confort thermique dans une cellule d'habitation ». *L'installateur* n° 345, mai 1972.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF NATURAL VENTILATION IN MULTIZONE BUILDINGS

A review of numerical codes allowing the prediction of the behaviour of multizone buildings clearly shows the difficulty of evaluating them owing to the lack of reliable experimental data.

After a brief description of methods used most currently for the characterization of permeability, the article describes a « passive » method based upon the definition of scenarios related to building morphology. This method is tested and evaluated on two real buildings. The results obtained show the effectiveness of the method used.

In a second phase, a sensitivity study using the **Comven** code, developed within the framework of the **Comis** international project, enabled identification of major parameters affecting air flow in multizone buildings with natural ventilation. A comparative study of the experimental and numerical results in connection with the **Comven** code also constitutes a first stage in the validation process for this code and the replacement of very costly experimental operations by the use of quality simulation tools.

NUMERISCHE UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER NATÜRLICHEN BELÜFTUNG VON GEBÄUDEN MIT MEHREREN ZONEN

Eine Sichtung der numerischen Programme, die es erlauben, das Verhalten von Gebäuden mit mehreren Zonen vorherzusagen, zeigt klar die Schwierigkeit, die es infolge des Mangels verlässlicher experimenteller Daten bei ihrer Auswertung gibt.

Nach einer kurzen Beschreibung der am weitesten verbreiteten Verfahren zur Charakterisierung der Durchlässigkeit, beschreibt die vorliegende Veröffentlichung eine sogenannte passive Methode, die auf der Definition von Szenarios beruht, die mit der Gestalt des Bauwerks verknüpft sind. Die erhaltenen Resultate zeigen deutlich die Qualität des angewendeten Verfahrens.

Im zweiten Teil erlaubt uns eine Empfindlichkeitsuntersuchung mit dem Programm **Comven**, das im Rahmen des internationalen Projektes **Comis** entwickelt wurde, die wichtigsten Parameter zu identifizieren, die die luftungstechnischen Austauschvorgänge bei der natürlichen Delüftung von Gebäuden mit mehreren Zonen bestimmen. Andererseits stellt eine vergleichende Untersuchung der experimentellen und rechnerischen Ergebnisse, wobei letztere durch das Programm **Comven** geliefert wurden, einen ersten Schritt im Überprüfungsprozeß dieses Programms dar. Dies auch im Hinblick auf den Ersatz aufwendiger experimenteller Untersuchungen durch eine Simulation von hoher Qualität.

ESTUDIO NUMERICO Y EXPERIMENTAL DE LA VENTILACION NATURAL EN LOS EDIFICIOS MULTIZONAS

Un análisis de los códigos numéricos que permiten predecir el comportamiento de los edificios multizonas muestra claramente la dificultad que existe para su evaluación, debido a la falta de datos fiables.

Tras una breve descripción de los métodos de caracterización de la permeabilidad más conocidos, la presente publicación describe un método, denominado *pasivo*, fundado en la definición de esquemas que guardan relación con la morfología del edificio. Este método ha sido sometido a prueba y evaluado en dos edificios existentes. Los resultados obtenidos muestran la perfecta calidad del enfoque utilizado.

En una segunda etapa, un estudio de sensibilidad con ayuda del método **Comven**, desarrollado en el marco del proyecto internacional **Comis**, nos ha permitido identificar los parámetros importantes de que dependen las transferencias aeráulicas en los edificios multizonas con ventilación natural. Por otro lado, un estudio comparativo de los resultados experimentales y numéricos, obtenidos para estos últimos por el código **Comven**, constituye una etapa preliminar de validación de dicho código, así como la sustitución de manipulaciones experimentales sumamente costosas por herramientas de simulación de calidad.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les auteurs peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

© 1994 by S.E.B.T.P. (S.A.R.L.)