

ETUDE DES TRANSFERTS D'AIR DANS UN APPARTEMENT

A. GADILHE* & B. FLEURY**

E.N.T.P.E. - L.A.S.H.

Rue Maurice AUDIN

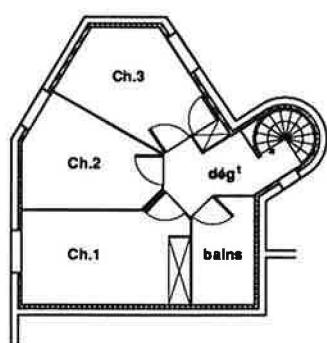
69518 Vaulx en Velin CEDEX

1 INTRODUCTION

Afin de réduire les pertes thermiques par renouvellement d'air, des systèmes de ventilation diminuant les débits extraits ont été proposés. Mais, à faible débit d'extraction, la ventilation est-elle suffisante dans chaque pièce pour évacuer les odeurs et l'humidité à chaque instant ? Nous nous proposons ici d'étudier les mouvements d'air interzones en fonction du débit d'extraction et des conditions de fonctionnement. Après avoir caractérisé la perméabilité d'un logement de type 4 par des tests de pressurisation, les transferts d'air sont étudiés expérimentalement pour différentes configurations du logement - portes ouvertes ou fermées, présence ou absence du détalonnement des portes -, puis numériquement pour diverses conditions météorologiques.

2 PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

2.1 Site



Le logement testé par le C.E.T.E. de Lyon est une maison individuelle faisant partie d'un lotissement de l'Isle d'Abeau, ville nouvelle proche de Lyon. Cette maison est encore inoccupée et les finitions intérieures ne sont pas achevées lors des tests. Son volume habitable est de 218 m³ pour une surface de 90 m². Elle se situe dans un site protégé du vent. Elle comporte quatre pièces principales, sur deux étages reliés par un escalier en colimaçon partant du séjour pour aboutir dans le dégagement (figure 1).

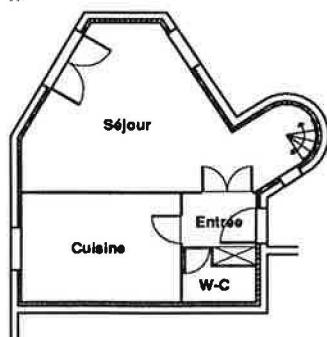


Figure 1 : Plan du logement

La ventilation est assurée par un système de Ventilation Mécanique Contrôlée : l'air est extrait dans les pièces de service - 3/5 dans la cuisine et 1/5 dans la salle de bain et les toilettes. Quatre cinquième de l'air est donc extrait au rez-de-chaussée où se trouvent la cuisine et les toilettes. Ainsi, une partie de l'air vicié des chambres transite par le séjour avant d'être extrait dans les pièces de service. Les effets liés au tirage thermique sont opposés aux effets induits par la V.M.C. de part la répartition des pièces de service sur les deux niveaux. Les pièces de vie sont équipées de bouches d'entrée d'air situées en partie haute des fenêtres. L'obturation nocturne des fenêtres est assurée par des volets roulants. Le chauffage est électrique. Cette maison peut être considérée comme représentative des constructions actuelles en individuel.

* Dr A. GADILHE est maintenant Ingénieur de Recherche au sein du laboratoire de recherche CÉRMA de l'Ecole d'Architecture de Nantes, Rue Massenet 44300 Nantes.

** Dr B. FLEURY est maintenant responsable Recherche Développement au sein de l'entreprise Aéroplast Vim, Azay le Brûlé 79 400 Saint Maixent l'Ecole.

2.2 Niveau d'étanchéité du logement

La procédure de mise en dépression du logement - ou d'une pièce - dont une porte a été remplacée par une porte étanche en feuillure munie d'un ventilateur, dite méthode de la fausse porte, a été suivie afin d'apprécier le niveau d'étanchéité du bâti [1].

Les essais réalisés ont permis la caractérisation de la perméabilité à l'air du logement et de chaque pièce dans les états suivants :

- en état, les bouches d'extraction étant closes
- entrées d'air et bouches d'extraction colmatées
- coffres de volet roulant, entrées d'air et bouches d'extraction colmatés
- coffres de volet roulant, entrées d'air, bouches d'extraction et fenêtres colmatés
- tous défauts décelables colmatés

Nous notons (figure 2) une contribution importante des défauts non décelables entraînant un débit de plus de 300 m³/h à 50 Pa alors que la qualité des fenêtres est bonne. Remarquons que les bouches d'entrée d'air n'assurent pas la plus grande partie de la perméabilité à l'air du logement. La perméabilité de ce logement, 0.28 Vol/h, se situe près de la moyenne de 0.25 Vol/h obtenue lors de la campagne de mesures réalisée par le C.E.T.E. de Lyon sur des maisons individuelles neuves à isolation intérieure ayant le même type de structure [2].

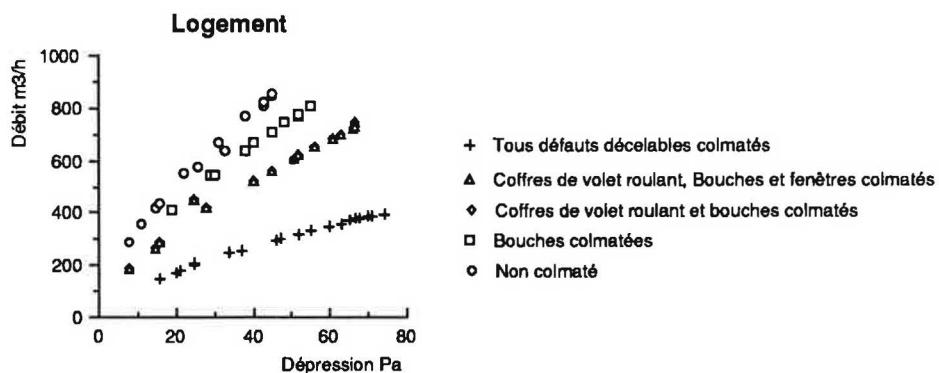


Figure 2 : Perméabilité globale du logement

Mais cette valeur de perméabilité pour le logement global cache un comportement très différencié des pièces du logement : si les chambres et le séjour ont un comportement similaire, l'entrée, la salle de bains et les toilettes, zones de petit volume, sont très perméables (tableau 1). Cette forte perméabilité des pièces de service et de circulation s'explique par la présence de canalisations. En revanche, il semble qu'un soin particulier ait été porté à la cuisine, puisque sa perméabilité est très faible. Comparativement, cette diversité de comportement peut entraîner des effets néfastes selon les conditions de fonctionnement de la ventilation, tels que le court-circuitage ou la sous ventilation de certaines zones.

Zone	Log.	Séj.	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	Cuis.	Hall	W.C.	SdB
Vol m ³	217.9	91.6	26	23	23	30	6	6	12.3
K m ³ /h	60.29	23.29	6.80	8.04	7.44	5.18	13.85	5.73	10.25
K/Vol.	0.28	0.25	0.26	0.35	0.32	0.17	2.31	0.96	0.83

Tableau 1 : Perméabilité sous 1Pa rapportée au volume habitable

2.3 Mouvement d'air interzone - Analyse des résultats expérimentaux

Afin de mesurer sans perturbation les débits interzone, le C.E.T.E. a étudié la loi de comportement des portes dans un caisson étanche puis identifié les caractéristiques du dispositif expérimental à mettre en place pour obtenir un comportement analogue. Une porte étanche, munie d'un tube de diamètre 104mm dans lequel est fixée une sonde de vitesse, permet la détermination du débit traversant la porte [3]. En l'absence de vent et de différence de température notable, les débits traversants chaque porte intérieure ont été mesurés pour plusieurs débits d'extraction ainsi que pour différents niveaux d'étanchéité.

Dans un schéma aéraulique idéal, l'air extrait dans les pièces de service doit provenir des pièces de vie et transiter par la porte de cette pièce. Ainsi, le rapport $R = Q_{\text{porte}}/Q_{\text{ext}}$ pour les pièces de service doit être proche de 1. La figure 3 démontre à nouveau que le niveau d'étanchéité des toilettes est mauvais et que le chemin de l'air extrait est essentiellement parasite. Par contre, pour la cuisine et la salle de bain, la variable R se rapproche de 1 pour les différents débits d'extraction.

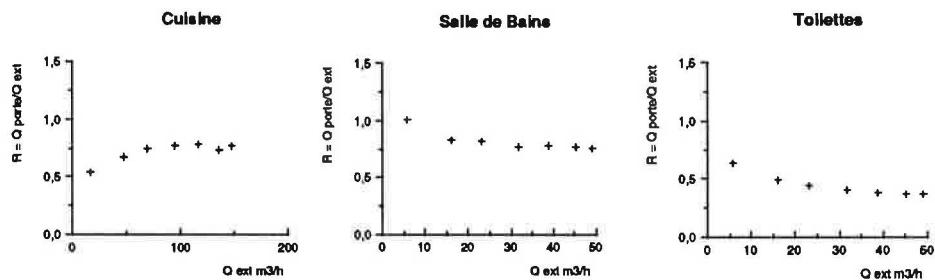


Figure 3: Evolution de R avec le débit extrait dans la pièce

A partir des débits expérimentaux transitant par la porte du séjour (figure 4), nous constatons que la porte d'entrée représente aussi une source parasite importante d'air qui sera directement aspiré par les deux pièces de service toutes proches. Cet air ne servira pas à alimenter les pièces de vie. Ainsi le séjour sera sous alimenté en air neuf. Si nous calculons le débit total d'air neuf entrant dans les pièces de vie par rapport au débit extrait, nous constatons que R est presque constant quel que soit le débit total d'extraction. Suivant la chambre, 10 à 20% du débit d'extraction transite par cette pièce. La réduction du débit total d'extraction en deçà d'une limite induira un débit d'air neuf, au niveau local, inférieur au débit hygiénique.

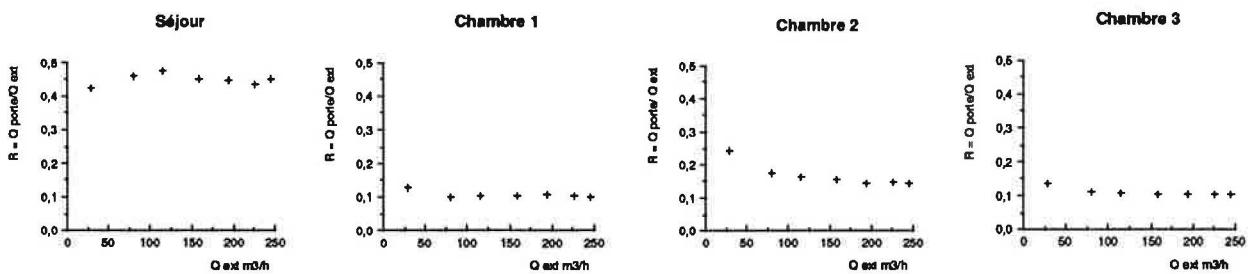


Figure 4: Evolution de R avec le débit extrait

Influence de la perméabilité de l'enveloppe

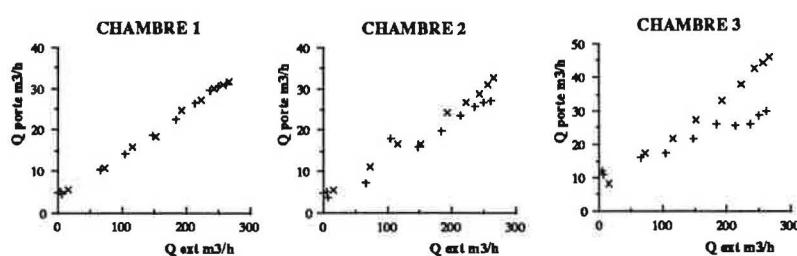


Figure 5 : Débit traversant la porte en fonction du débit total extrait
 A1 = Fuites enveloppe extérieure colmatées
 E1 = Fuites enveloppe extérieure décolmatées

Si nous décolmatons l'ensemble des fuites de l'enveloppe extérieure mais colmatons les fuites détectables entre les zones intérieures, le débit transitant par la chambre 3 est augmenté (figure 5). Ainsi nous mettons en évidence la mauvaise finition de la façade de la chambre 3.

Influence du statut des portes intérieures

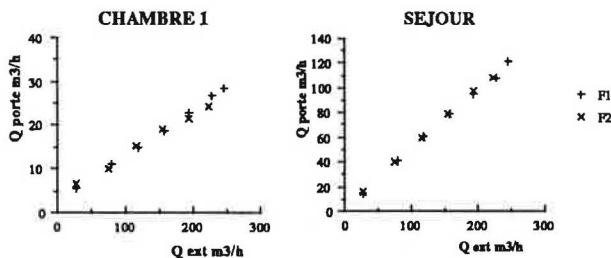


Figure 6 : Débit traversant la porte en fonction du débit total extrait
 F1 = Bâtiment réel - Portes fermées
 F2 = Bâtiment réel - Porte chambre 2 ouverte

Si nous ouvrons la porte de la chambre 2, les transferts aérauliques dans le logement ne sont pas modifiés. Ceci signifie que la différence de pression entre la chambre 2 et le séjour est faible (figure 6).

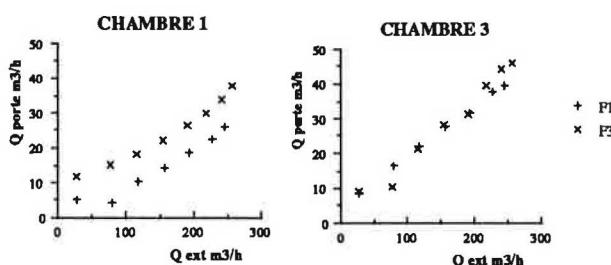


Figure 7 : Débit traversant la porte en fonction du débit total extrait
 F1 = Bâtiment réel - Portes fermées
 F3 = Bâtiment réel - Portes séjour et cuisine ouvertes

Par contre, si nous ouvrons les portes du séjour et de la cuisine, la résistance aéraulique du logement est considérablement diminuée. Ainsi la forte dépression dans la cuisine sera réduite et les différences de pression entre zones seront homogénéisées (figure 7).

Influence du détalonnement des portes

Afin de simuler la réduction du détalonnement des portes suite au changement de moquette ou à la pose d'un joint d'étanchéité, la section de passage de l'air des portes des chambres 2 et 3 a été réduite. La perte de cette source d'air neuf est compensée par une augmentation des débits admis dans les autres pièces de vie car la résistance aéraulique globale du logement et les différences de pressions intérieur-extérieur sont accrues (figure 8).

Si le détalonnement des trois portes de chambre est réduit, le débit transitant par les chambres 1 et 2 diminue de 15% alors que celui provenant de la chambre 3, de plus faible étanchéité, chute de 25%. (figure 9) Des infiltrations parasites accrues dans l'entrée compensent la perte de débit dans les chambres, le débit admis dans le séjour reste constant.

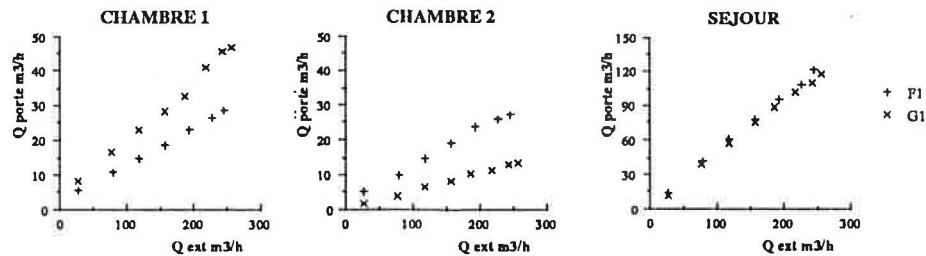


Figure 8 : Débit traversant la porte en fonction du débit total extrait
F1 = Bâtiment réel - Détalonnement normal
G1 = Bâtiment réel - Détalonnement réduit

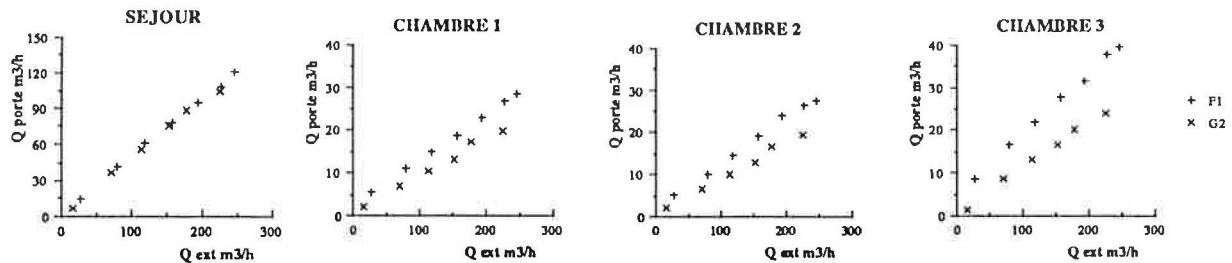


Figure 9 : Débit traversant la porte en fonction du débit total extrait
F1 = Bâtiment réel - Détalonnement normal
G2 = Bâtiment réel - Détalonnement réduit

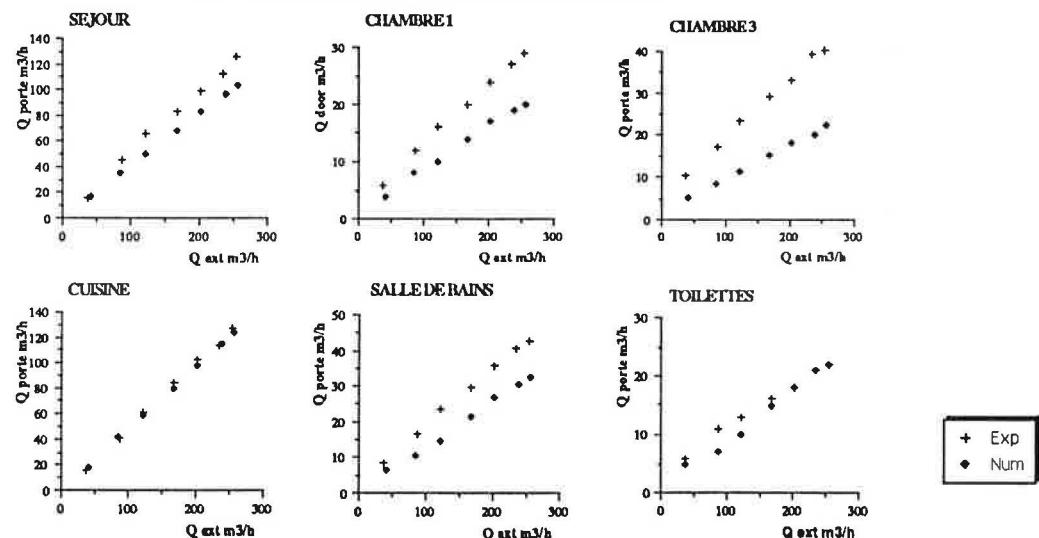


Figure 10 : Débit traversant les portes intérieures

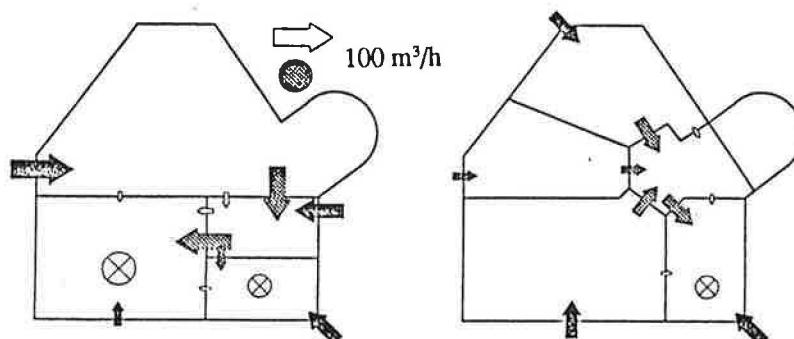


Figure 11 : Mouvements d'air dans le logement - Débit extrait de $250 m^3/h$

2.4 Comparaison des mesures de débit traversant les portes et des résultats du code numérique ESP-AIR [4]

Lors d'une expérimentation in situ, la maîtrise des conditions météorologiques étant impossible et le dispositif expérimental ne donnant accès qu'au débit transitant par les portes intérieures, nous ne pouvons analyser les mouvements d'air interzones qu'en absence de vent et de différence de température. Le recours à la simulation numérique est donc une voie pour appréhender le fonctionnement du logement en conditions réelles.

Pour mettre en oeuvre les codes de simulation de l'aéraulique du bâtiment, nous devons décrire les lois de comportement des défauts d'étanchéité du logement mis en évidence lors des essais de pressurisation. Plusieurs méthodes peuvent permettre l'identification des lois de comportement : soustraction de lois, méthode de résolution sous contrainte de système non linéaire [5]. Cette dernière [6] s'est avérée pertinente en regard des tests de pressurisation effectués au niveau global et local du logement. Dans la suite de cette étude, nous retenons la configuration où les défauts d'étanchéité décelables ont été colmatés.

Si nous comparons les résultats des débits transits par les portes intérieures, nous obtenons un bon accord pour toutes les pièces situées au rez-de-chaussée, y compris pour les toilettes qui sont très transparentes (figure 10). Par contre, les comparaisons sont mauvaises pour le premier étage. Les débits transitants faibles, le mouvement anabatique de l'air dans l'escalier ainsi que la non simulation de différences éventuelles de température entre les différentes zones peuvent expliquer la divergence des résultats.

La méthodologie expérimentale ne nous permet pas d'obtenir une image globale de la circulation de l'air intérieur du pavillon. Par contre, les simulations numériques permettent de visualiser les mouvements de l'air interzones et montrent que le schéma aéraulique optimal est bien respecté pour un débit total d'extraction de $250\text{m}^3/\text{h}$ (figure 11). Cependant, nous notons une contribution significative des infiltrations dans la cuisine malgré son bon niveau relatif d'étanchéité. L'important débit extrait dans cette pièce crée une forte dépression induisant une plus grande différence de pression entre cette pièce et l'extérieur qu'entre les autres pièces et l'extérieur. Ainsi, toutes les pièces où se trouvent une extraction mécanique devront recevoir une meilleure qualité de finition que les autres afin d'éviter tout court-circuitage de l'air dans ces pièces (et donc une sous alimentation en air neuf des pièces de vie) qui est préjudiciable à l'efficacité globale du système de ventilation. Nous constatons la pertinence de ce propos dans les deux autres pièces de service : WC et salle de bains. Ces pièces, comme nous l'avons vu précédemment, présentent de nombreux défauts d'étanchéité dus aux multiples réseaux.

3 APPROCHE NUMERIQUE DES MOUVEMENTS D'AIR EN CONDITIONS NORMALES D'OPERATION

Toutes les expérimentations ainsi que les simulations numériques précédentes ont été effectuées en l'absence de vent et de différence significative de température. Cependant, les conditions normales d'opération en hiver sont différentes. Dans ce paragraphe, nous analyserons l'influence des variables climatiques sur la qualité aéraulique du pavillon. Nous essaierons de répondre à la question suivante : "A différents débits d'extraction, peut-on maîtriser les débits transitants dans les pièces de vie ?".

Les modèles en pression très populaires actuellement nous permettent de calculer les mouvements d'air interzones dans diverses conditions d'opération du bâtiment [7]. Ils nécessitent la connaissance du champ de pression autour du bâtiment, la loi de comportement des connexions interzones et la loi de fonctionnement des systèmes de ventilation. L'expérimentation, notamment les tests en pressurisation, ont conduit à la détermination des lois de comportements des connexions interzones.

Nous avons simulé une vitesse de vent typique des conditions météorologiques de l'Isle d'Abeau (4m/s) ainsi qu'une condition extrême (10m/s), la direction du vent est étudiée suivant les quatre points cardinaux. La température extérieure est de 0°C, la température intérieure est prise égale à 20°C. Nous avons supposé par ailleurs que les portes intérieures sont fermées. Les figures 12 et 13 représentent pour les quatre directions de vent étudiées, la variation des débits entrant et sortant en fonction du débit total extrait dans le logement pour chacune des zones du logement.

Perméabilité des façades (*figure 12*)

Nous constatons que les débits traversant les pièces de vie et les pièces de service sont voisins en absence ou en présence d'un vent de vitesse moyenne provenant du Nord ou du Sud. La faible perméabilité de la façade Nord et la mitoyenneté de la façade Sud explique ce phénomène.

Dans le cas d'un vent de Nord, la diminution des débits traversant les chambres est compensée par l'augmentation du débit traversant l'entrée, qui ne sert donc pas à alimenter le logement en air neuf mais qui est extrait directement par la ventilation mécanique.

Cas des petits débits d'extraction (*figure 13*)

Pour les plus petits débits d'extraction, les chambres sous le vent ne sont pas alimentées en air neuf, c'est à dire air provenant de l'extérieur (chambres 1 et 2 lorsque le vent vient de l'Est et chambre 3 lorsque le vent vient de l'Ouest).

Direction et vitesse du vent (*figure 13*)

Lorsque le vent vient de l'Est (respectivement Ouest), nous notons une augmentation des débits entrant dans les pièces ayant une façade au vent : chambre 3, salle de bain et toilettes (respectivement chambres 1, 2 et cuisine) ; et une diminution des débits entrant dans les pièces sous le vent : chambres 1, 2 et toilettes (respectivement chambre 3, salle de bain et toilettes).

Le débit traversant la chambre 3 est multiplié par trois alors que les chambres 1 et 2 ne sont pas alimentées en air neuf pour un vent venant de l'Est. De plus, l'air extrait dans les toilettes et la salle de bain provient de l'extérieur et non des pièces de vie. La situation s'inverse en partie lorsque le vent vient de l'Ouest, puisque maintenant la chambre 3 n'est plus ventilée correctement en air neuf.

Remarquons le cas particulier du séjour qui du fait d'une triple exposition est alimenté en air neuf pour toutes les directions et vitesse de vent et pour tous les débits d'extraction.

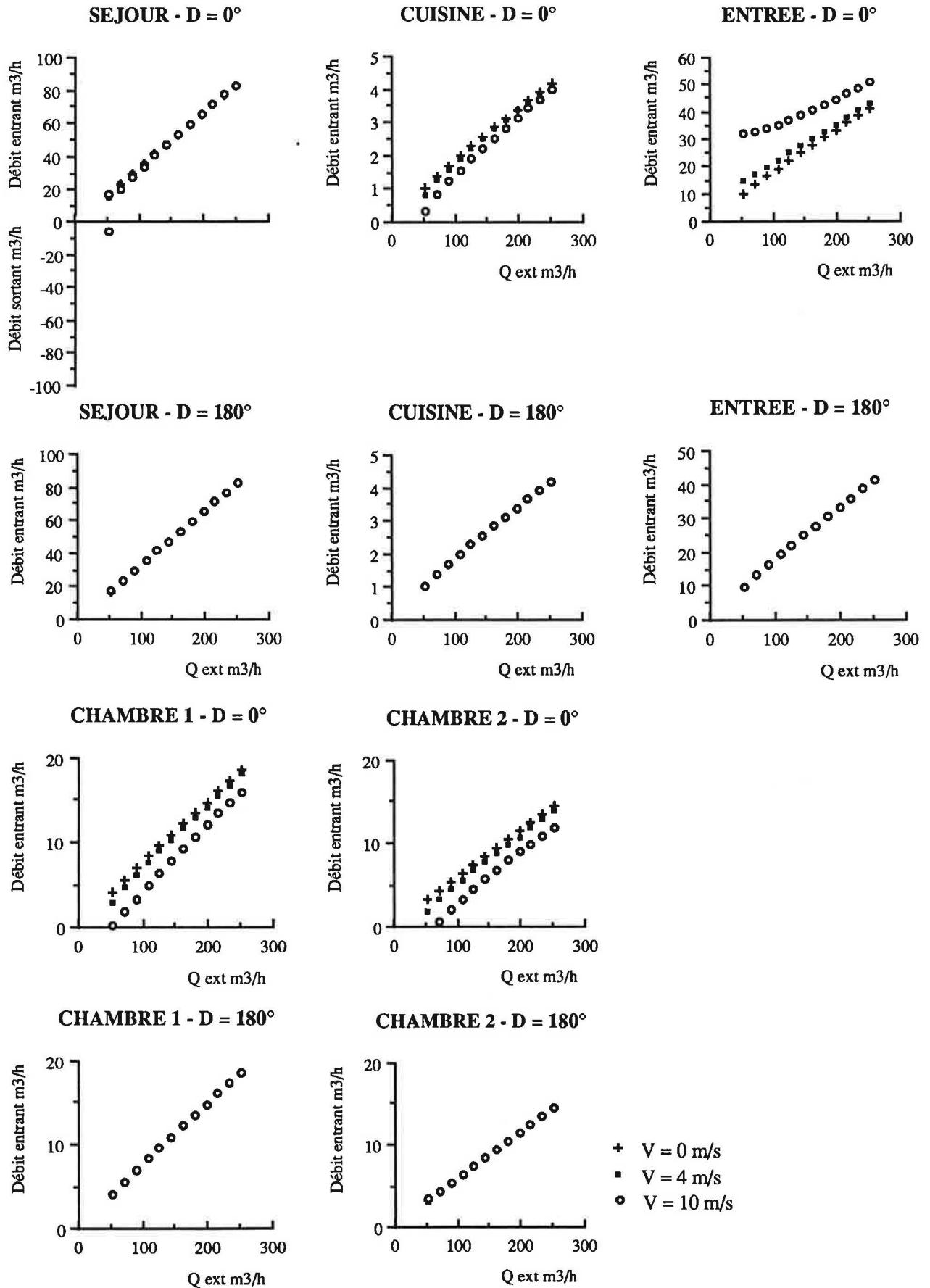


Figure 12 : Débits entrant et sortant fonction du débit total extrait - Vent soufflant du Nord (0°) ou du Sud (180°)

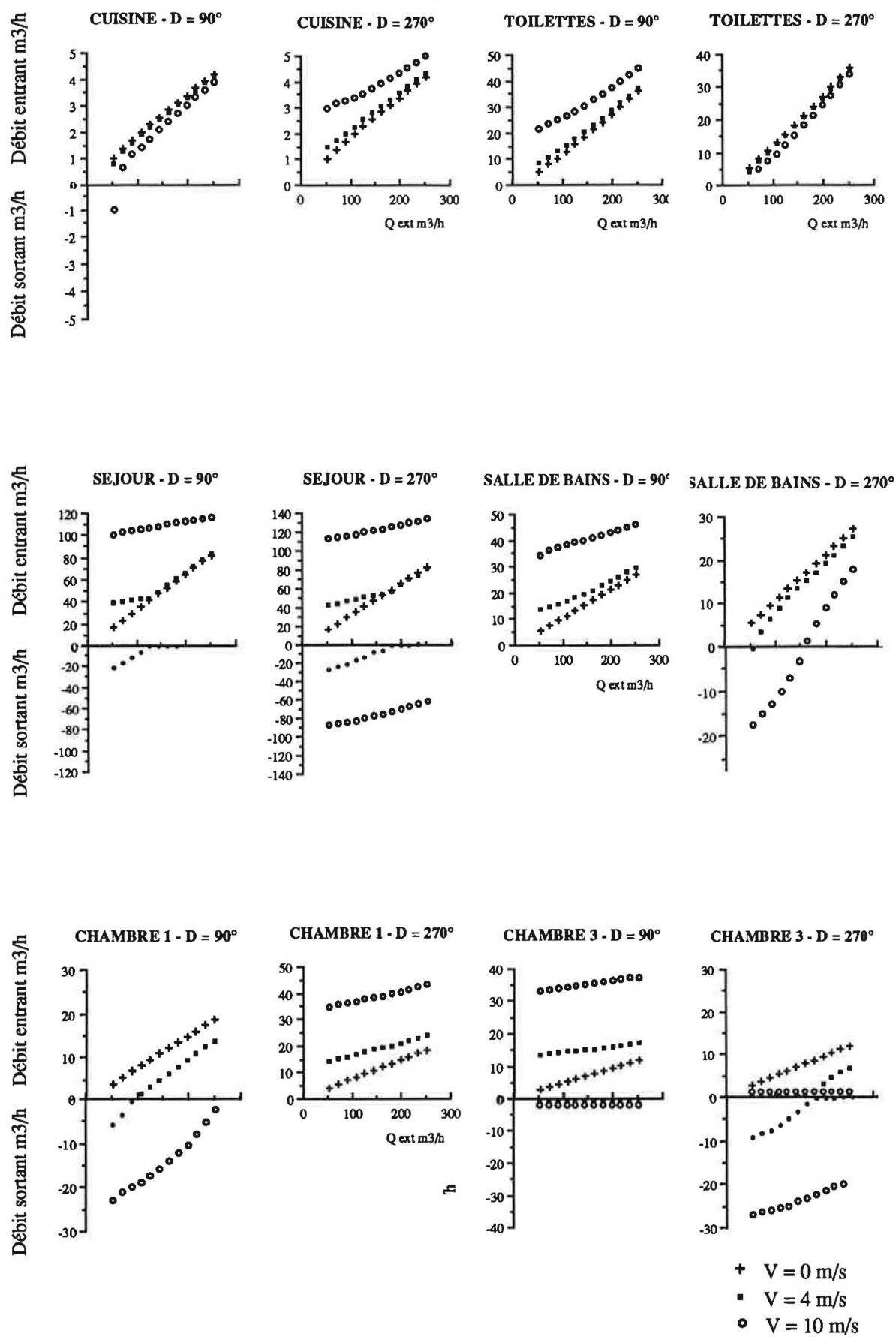


Figure 13 : Débits entrant et sortant fonction du débit total extrait - Vent de l'Est (90°) ou de l'Ouest (270°)

4 CONCLUSIONS

- Les pièces d'extraction devraient présenter un niveau d'étanchéité très important pour éviter les courts-circuitages d'air et la sous alimentation en air neuf des pièces de vie.
- Les débits transitants par les réservations volontaires intérieures ne peuvent être contrôlés que si le niveau d'étanchéité de l'enveloppe extérieure et des partitions intérieures est élevé. Par contre, la réduction d'un détalonnement ou d'un passage volontaire a des conséquences dramatiques sur l'alimentation en air neuf de la pièce. Choisir un bloc porte ou une porte avec grille est une stratégie plus appropriée que le détalonnement qui peut être réduit suite à la pose d'un revêtement de sol non mis en place initialement.
- A faible débit d'extraction, il est nettement plus difficile de contrôler les mouvements interzones et le schéma aéraulique optimum n'est pas toujours respecté dans les conditions normales de fonctionnement. Ainsi, nous constatons que les bouches peuvent fonctionner à l'envers suivant les conditions de vent. Dans ces circonstances, elles se comportent comme un trou. Il est surprenant que les bouches ne soient contrôlées que dans un sens de fonctionnement et que les bouches omnidirectionnelles avec clapet anti-retour ne soient pas conseillées et recommandées par la réglementation.
- Le principe du système à extraction ne garantit que l'évacuation d'un débit nominal dans les pièces de service et en aucune manière un débit certain d'alimentation en air neuf dans les pièces de vie. Ainsi, la qualité de l'air ne peut être assurée dans chaque pièce par cette technique pour différentes conditions météorologiques, en particulier avec le niveau de qualité des prestations qui sont actuellement offertes dans les bâtiments.

5 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] V. RICHALET, J.P. GIBERT, "La perméabilité à l'air des enveloppes.", Promoclim 1989, Tome 20 n°1, p. 19-31.
- [2] Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement, "Perméabilité à l'air des logements neufs.", Isle d'Abeau : CETE, 1983, 220 p.
- [3] B. FLEURY, A. GADILHE, "Experimental study of air flow patterns in a three bedroom house.", 10th AIVC Conference, Dipoli, Finland, 1989.
- [4] J. CLARKE, D. McLEAN, Abacus, "ESP : A building and plant energy simulation system.", University of Strathclyde, Glasgow, UK, 1986.
- [5] B. FLEURY, A. GADILHE, "Etude des transferts d'air dans un appartement.", Rapport final à la convention A.F.M.E. n°9.04.0036.
- [6] H.T. LAU, "On solving systems of non linear equations by simulation." Mathematics and Computers in simulation, 1988, Vol. 30, p. 253-256.
- [7] S.J. BYRNE, B.A. FLEURY, "Computer simulation of natural ventilation airflow."

ETUDE DES TRANSFERTS D'AIR DANS UN APPARTEMENT

A. GADILHE* & B. FLEURY**

E.N.T.P.E. - L.A.S.H.

Rue Maurice AUDIN

69518 Vaulx en Velin Cedex

La qualité de l'air à l'intérieur des locaux d'habitation dépend de l'efficacité du système de ventilation mais également de la perméabilité à l'air des différents composants - fenêtre, bouche d'entrée d'air, coffre de volet ouvrant, paroi opaque ... - et de leur mise en oeuvre. L'objet de cet article est d'étudier l'influence de la perméabilité à l'air d'un logement réel de type 4 sur les mouvements d'air interzones pour différentes conditions d'opération.

Après avoir caractérisé la perméabilité à l'air de ce logement, et montré que le niveau de perméabilité n'est pas uniforme pour l'ensemble des pièces, nous analysons expérimentalement les mouvements d'air interzones en absence de vent et de gradient de température pour différents niveaux d'étanchéité à l'air. Ces débits mesurés sont comparés à ceux calculés numériquement par mise en oeuvre d'un modèle en pression, montrant un bon accord pour les pièces du rez-de-chaussée et une divergence pour les pièces de l'étage due en partie au tirage thermique.

Puis, afin d'évaluer le fonctionnement aéraulique du bâtiment pour différentes conditions météorologiques et d'aborder la question de la maîtrise des débits transitant dans les pièces de vie pour différents débits d'extraction, nous déterminons numériquement les débits échangés dans chaque zone pour quatre directions et deux vitesses de vent. Ainsi, nous mettons en évidence que le contrôle de la circulation de l'air dans un logement et l'efficacité du système de ventilation sont difficiles à réaliser pour toutes les conditions d'opération, notamment à faible débit d'extraction. Nous concluons par quelques recommandations pour la conception de la ventilation.

Mots-clés : mouvements interzones, mesure de débits, simulation aéraulique

AIR FLOW PATTTERN IN A HOUSE

The indoor air quality depends of the efficiency of the HVAC system and of the leakage of the building components - window, shutters, walls... -.The purpose of this paper is to study the airflow pattern at different levels of permeability of a three bedroom house at various extraction rate and weather conditions.

First, we identify the leakage distribution of the building. Then, in absence of wind and temperature difference, we measure the air flow rate through the interior doors for different mechanical extraction rates and compare them to the results of a pressure model simulation. The agreement is good for the first floor but weak for the second floor because of the stack effect.

Finally, we study numerically the air flow pattern within the house under real weather conditions. We demonstrate that at low air extraction rate the ventilation is not always effective. We conclude with some recommendations for the conception of the ventilation.

Keywords : interzonal air movement, airflow measurement, airflow simulation

* Dr A. GADILHE est maintenant Ingénieur de Recherche au sein du laboratoire de recherche CERMA de l'Ecole d'Architecture de Nantes, Rue Massenet 44300 Nantes.

** Dr B. FLEURY est maintenant responsable Recherche Développement au sein de l'entreprise Aéroplast Vim, Azay le Brûlé 79 400 Saint Maixent l'Ecole.