

INFLUENCE OF INFILTRATIONS AND INTER-ROOM AIR
FLOWS ON THERMAL LOADS IN MULTIZONE BUILDINGS

4656

A. ROLDAN, F. ALLARD
Laboratoire Equipement de l'Habitat - Centre de Thermique
INSA de Lyon 69621 Villeurbanne France

G. ACHARD
Laboratoire Génie Civil et Habitat
Université de Savoie BP 1104 73011 Chambéry France

Summary

A better knowledge of buildings thermal behaviour involves the study of multi-zone described buildings with interzone coupling where ventilation assumes an important part. In our paper we propose a ventilation model adapted from previous works and integrated in a detailed program of thermal simulation of buildings. In the first part we describe the physical models used. The second part is devoted to the validation of the ventilation model by comparison with experimental datas and with numerical results from an other simulation code. In the last part we show the effect of multizone modelling with inter-zone air infiltrations on the predicted thermal behaviour of a building.

Résumé

L'évaluation précise de la charge thermique des bâtiments nécessite une description multizone de ceux-ci avec prise en compte des couplages thermiques inter-zones, en particulier ceux induits par les échanges aérauliques. A partir de l'analyse de travaux antérieurs, nous avons établi un modèle de ventilation que nous avons intégré dans un programme de simulation détaillée du comportement thermique des bâtiments. Dans la première partie, nous donnons la description des modèles physiques utilisés. La seconde partie est consacrée à la validation du modèle aéraulique par comparaison avec des résultats expérimentaux publiés et avec les résultats d'un autre modèle. Dans la dernière partie, nous montrons l'influence des différents types de partition multizone avec prise en compte des infiltrations entre zones sur les résultats de simulation du comportement thermique d'un bâtiment.

Zusammenfassung

Die genaue Schätzung der thermischen Belastung bei den Gebäuden erfordert hierfür eine Mehrzonen-Beschreibung unter Berücksichtigung des inneren thermischen Zusammenstellugen und besonders die dadurch folgernden Luftaustausche. Aus vorgerigen Arbeitsanalysen haben wir ein Ventilationsmodell aufgestellt, das wir in ein detailliertes Simulationsprogramm des thermischen Verhaltens der Gebäude integriert haben. In dem ersten Teil beschreiben wir die benutzten physikalischen Modelle, dann verwenden wir den zweiten Teil zur Erklärung der Gültigkeit des Ventilationsmodells im Vergleich zu den bekäntgemachten experimentellen Ergebnissen und mit den erhaltenen Resultaten mittels eines anderen numerischen Modells. In dem letzten Teil zeigen wir den Einfluss von verschiedenen Mehrzonen-Teilugen über Simulations ergebnisse, erreicht mittels des Vollstädigen Modells des thermischen Verhaltens der Gebäude.

INFLUENCE DES INFILTRATIONS ET DES TRANSFERTS AÉRAULIQUES ENTRE PIÈCES SUR LA CHARGE THERMIQUE D'UN BATIMENT MULTIZONE

A. ROLDAN, F. ALLARD

Laboratoire Equipement de l'Habitat. Centre de Thermique
Bât 307, INSA 69621 Villeurbanne Cedex France

G. ACHARD

Laboratoire Génie Civil et Habitat. Université de Savoie
BP 1104 73011 Chambéry France

1. Introduction

L'analyse détaillée du comportement thermique des bâtiments nécessite la modélisation du bâtiment dans toute sa complexité et, en particulier, la prise en compte effective de son aspect multizone. Cette approche ne peut se justifier que si le problème du couplage entre zones est effectivement abordé. Les échanges aérauliques constituent une part importante de ce couplage. Après une présentation rapide des algorithmes de base du logiciel que nous avons développé (1) ainsi que des validations expérimentales et numériques auxquelles il a été soumis, nous quantifierons l'influence d'une modélisation multizone avec prise en compte des couplages aérauliques par rapport à un modèle plus simple.

2. Le modèle thermique

La partie thermique du logiciel est basée sur deux types d'équations de bilan énergétique : au niveau des surfaces des parois, et pour chacune des zones thermiques considérées. Une zone thermique correspond à une pièce ou à un ensemble de pièces isothermes où les seules variations de pression admises résultent de l'altitude du point considéré.

2.1. Bilan de surface :

On écrit, à chaque instant, que la somme des flux conductifs (ϕ_{cd} calculés ici par la méthode (2) des fonctions de transfert en z), des flux convectifs (ϕ_{cv}) et radiatifs (ϕ_{rd}), arrivant sur le noeud représentatif de la température de surface de la paroi considérée, est nulle.

$$\phi_{cd} + \phi_{cv} + \phi_{rd} = 0 \quad (1)$$

Pour l'évaluation de ϕ_{rd} , le domaine des longueurs d'onde est partagé en deux bandes : $]0, 2.5 \mu\text{m}]$ pour les Courtes Longueurs d'Onde (CLO)

et $]2,5 \mu m, \infty[$ pour les Grandes Longueurs d'Onde (GLO).

Les échanges radiatifs GLO entre surfaces sont modélisés par une méthode d'enceinte fictive (3). Cette méthode, moyennant certaines adaptations, est également utilisée pour le calcul des éclairagements CLO (4). Pour un bâtiment formé de NP zones et NS surfaces, l'écriture de l'équation (1) au niveau de chaque surface conduit à un système de NS équations à NS + NP inconnues (NS températures de surface et NP températures d'équilibre de l'air dans les zones). L'écriture de NP équations de bilan thermique sensible de zone permet alors de compléter le système.

2.2. Bilan de zone :

Une des hypothèses principales retenues pour le modèle de calcul est l'isothermie d'une zone (Cette hypothèse constitue d'ailleurs un guide pour le découpage d'une cellule quelconque en plusieurs zones). La température TI d'une zone résulte de son équilibre convectif. Soit p le numéro de la zone étudiée, les apports convectifs qui contribuent au bilan thermique de sa masse d'air sont d'une part les transferts de chaleur par convection entre l'air à TI_p et les NS_p surfaces formant la zone, d'autre part les échanges aérauliques avec les NP zones adjacentes à celle étudiée y compris l'extérieur qui est considéré comme une zone particulière.

$$\sum_{i=1}^{NS_p} hc_i S_i (TS_i - TI_p) + \sum_{k=1}^{NP} Q_{k,p} C_k TI_k - \sum_{n=1}^{NP} Q_{p,n} C_p TI_p + G_p = \rho_p V_p C_p \frac{dTI_p}{dt} - P_p \quad (2)$$

$Q_{m,j}$: débit massique d'air qui passe de la zone m à la zone j (kg/s)

C_p, ρ_p : chaleur massique et masse volumique de l'air d'une zone p de volume V_p .

G_p : apports sensibles éventuels dans la zone p (W)

hc_i : coefficient d'échange par convection entre la surface i d'aire S_i et de température TS_i et la zone p (W/m² K).

Si la température TI_p est fixée à une valeur de consigne, l'équation (2) permet également le calcul de la puissance P_p nécessaire au maintien de la consigne. Nous avons réalisé sur ce modèle thermique de nombreuses validations tant numériques qu'expérimentales (5).

3. Le modèle aéraulique

A partir des sollicitations thermiques (températures d'air) et dynamiques (vitesse et direction du vent) auxquelles est soumis le bâtiment on calcule par un processus itératif les pressions de référence des différentes zones (6). On en déduit la différence de pression à travers les ouvertures, et par une loi d'écoulement appropriée, le débit qui traverse ces ouvertures.

3.1. Calcul de la différence de pression :

Le vent crée sur une ouverture une pression P_V qui dépend à la fois de sa vitesse V et de sa direction.

$$P_V = C_P \cdot \frac{1}{2} V^2 \quad (3)$$

C_P : coefficient de pression compris entre -1 et +1. Il permet de relier la pression effective sur le bâtiment due au vent à son angle d'incidence. La différence de température entre deux zones séparées par une ouverture crée une différence de masse volumique et donc une différence de pression due au tirage thermique. Dans le cas représenté par la figure 1, on aura $\Delta P = P_j - P_i$ d'où $\Delta P = P_M - P_N + P_S$.

P_S représente la différence de pression due à la différence de masse volumique : $P_S = \rho_M g (Z_M - Z_j) - \rho_N g (Z_N - Z_i)$.

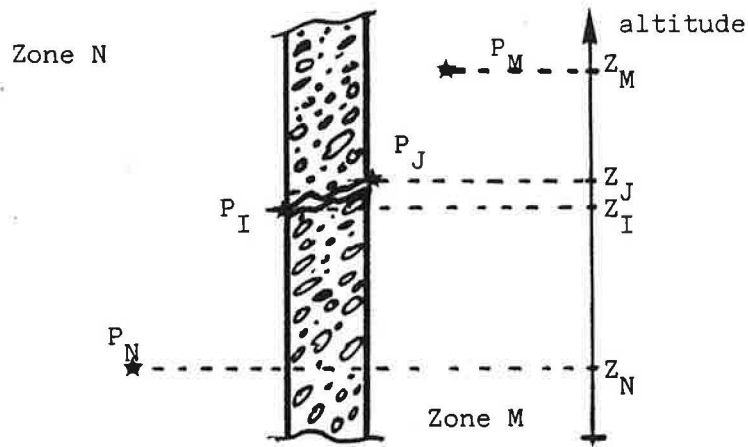


Figure 1 : Définition des différentes pressions

D'une façon générale, à travers une ouverture k quelconque, la différence de pression totale (effet du vent et tirage thermique) s'écrit :

$$\Delta P_k = P_V + P_S + P_M - P_N.$$

3.2. L'équation de débit :

A travers n'importe quel type d'ouverture, le débit massique Q_k peut s'exprimer, en fonction de la différence de pression ΔP_k , par une relation du type :

$$Q_k = A_k \Delta P_k^{X_k} \quad (4)$$

A_k et X_k : coefficients caractéristiques de l'ouverture k. Par exemple, pour une petite ouverture fixe d'aire S_k on prendra $A_k = 0,848 S_k$ et $X_k = 0,5$.

3.3. Méthode de résolution :

L'écriture des équations du type (4) pour toutes les ouvertures d'un bâtiment conduit à un système de NP équations non linéaires à NP inconnues

(Les NP pressions de référence dans les zones). Dans chaque zone, le bilan de masse doit être vérifié, ce qui donne une relation supplémentaire où apparaît le débit $Q(\text{VMC})$ extrait de la zone par la ventilation mécanique contrôlée et qui permet de définir un critère de convergence pour la méthode de résolution itérative utilisée : $Q(\text{VMC}) + Q_k = 0$.

4. Validation du modèle aéraulique

La meilleure procédure pour valider un modèle numérique est la confrontation expérimentale. Notre laboratoire n'ayant pas, à l'heure actuelle, les moyens d'effectuer de telles mesures, cette validation a été réalisée à partir des résultats publiés par DAHOME (7). Il s'agit d'expériences effectuées sur la maison expérimentale d'E.D.F. située aux environs de Paris. Des mesures de débit par la méthode du gaz traceur ont été faites pour des surfaces d'infiltration et des conditions climatiques différentes dont les paramètres principaux étaient également mesurés. Les résultats de la comparaison sont données sur la figure 2. Le trait plein représente la concordance parfaite entre calcul et expérimentation. Les traits mixtes délimitent une zone d'incertitude de $\pm 25\%$ autour de cette concordance parfaite. Cette "plage" d'incertitude relativement large est celle généralement adoptée dans ce type de problème, ce qui démontre clairement la difficulté de réaliser des mesures précises de débits d'infiltration. Nous constatons que les résultats fournis par le modèle présentent une bonne concordance avec les valeurs expérimentales mesurées.

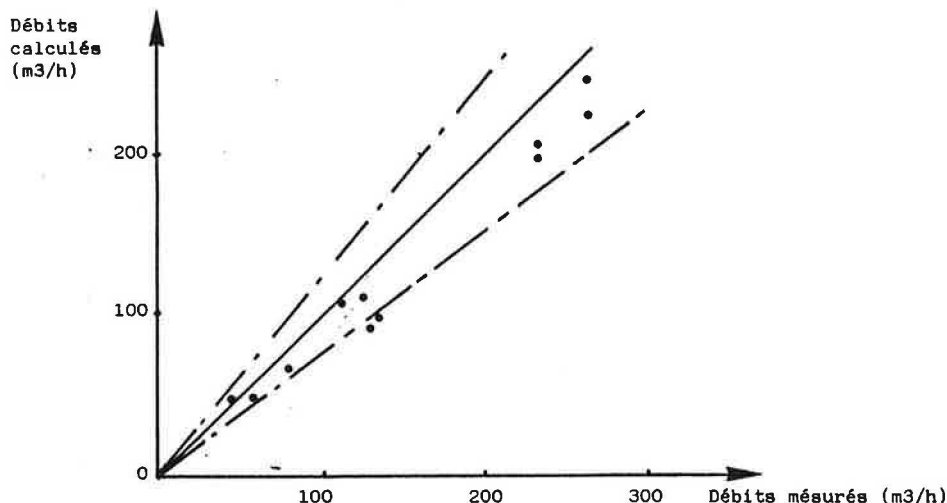


Figure 2 : Confrontation du modèle avec les résultats expérimentaux.

5. Influence de la finesse de la description d'un bâtiment sur les résultats d'une simulation

Nous nous proposons dans ce paragraphe de qualifier et de quantifier l'influence des échanges aérauliques entre zones sur les résultats de la simulation d'un même logement (figure 3) avec trois degrés de finesse différents dans la description : "1 zone" correspondant à tout le logement, "2 zones" (partie Nord et partie Sud) et "7 zones" (1 zone = 1 pièce).

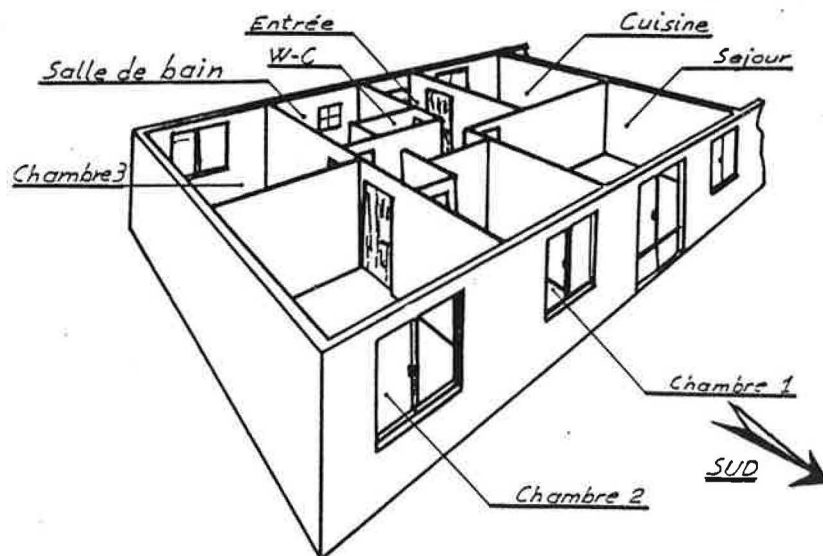


Figure 3 : Bâtiment modélisé

5.1. Etude sur une séquence climatique courte

Cette simulation sur une période de temps relativement courte (20 jours) nous permet de comparer finement, heure par heure, les comportements aérauliques et thermiques correspondants aux trois types de partition. Les figures 4 et 5 donnent les répartitions des débits d'air suivant les différents cas et pour deux instants différents (heure 13 et heure 16) du jour 14 de la séquence climatique. Les débits indiqués sont des débits volumiques, ce qui explique que la somme des débits ne soit pas nulle dans une zone donnée. Ces exploitations montrent que le comportement aéraulique du bâtiment étudié dépend énormément de la direction du vent ce qui peut conduire à une inversion du sens des débits parasites, malgré la présence d'une VMC. Pour l'exemple de bâtiment que nous avons choisi, les surchauffes éventuelles en partie Sud seront bien récupérées au niveau des zones Nord à l'heure 13 (figure 5) mais beaucoup moins bien à l'heure 16 (figure 4).

La figure 6 donne les puissances appelées heure par heure pour le dernier jour de la période simulée. On constate des différences instantanées très importantes entre le cas "1 zone" et le cas "7 zones". D'un point de vue énergétique (tableau 1), on observe également un comportement très satisfaisant dans le cas "2 zones", alors qu'une description monozone donne encore une erreur relative de l'ordre de 7 %. Ces premiers résultats semblent indiquer que la description "1 zone" est trop simpliste pour donner des résultats corrects si l'on s'intéresse au suivi dynamique du comportement thermique d'un bâtiment.

5.2. Etude sur une année climatique :

Nous avons travaillé avec les données (année 1972) de la station météorologique de Trappes (France). Le tableau 1 donne le coefficient B (8) du logement suivant les trois cas de description, ainsi que les écarts relatifs par rapport à la référence. Quelle que soit la base de temps (journalière, mensuelle ou annuelle), la prise en compte des

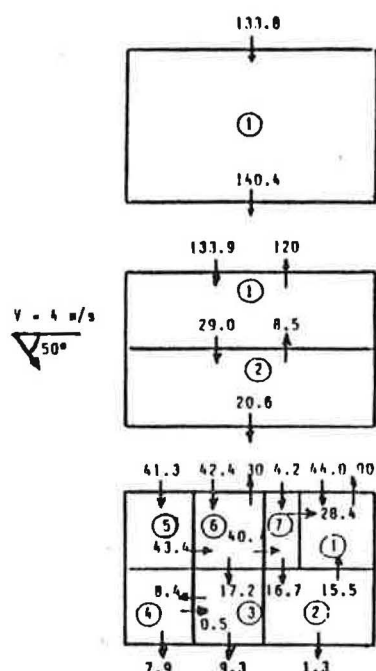


Figure 4 : Répartition des débits volumiques (Heure 13, Jour 14)

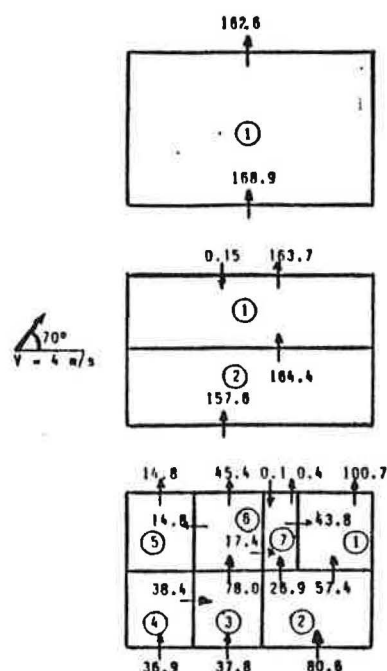


Figure 5 : Répartition des débits volumiques (Heure 13, Jour 14)

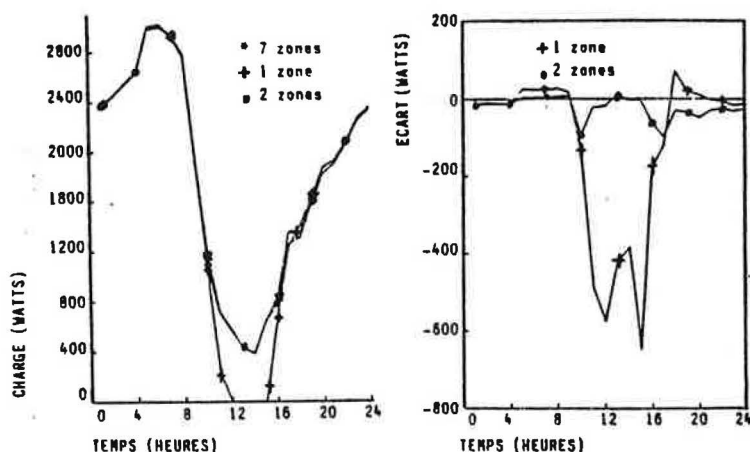


Figure 6 : Comparaison de la charge thermique (Jour 20) suivant le type de partition (écart nul pour "7 zones")

Description	Consommation journalière	Ecart relatif	Coefficient B	Ecart relatif
"7 zones"	40,8 Kwh	Référence	0,691 W/m ³ .K	Référence
"2 zones"	40,2 Kwh	9,3 %	0,689 W/m ³ .K	0,3 %
"1 zone"	37,9 Kwh	6,9 %	0,676 W/m ³ .K	2,1 %

Tableau 1 : Consommation journalière (Jour 20) et coefficient B de la cellule étudiée.

couplages aérauliques accroît l'intérêt de réaliser une description du logement avec au moins "2 zones". En effet le fait de travailler avec 2 zones thermiques plutôt qu'avec une seule augmente peu le temps de calcul nécessaire et donne des résultats tout à fait satisfaisants par rapport à une description bien plus complexe ("7 zones") qui nécessite des temps de calcul prohibitifs.

6. Conclusion

L'étude que nous avons réalisée montre que les erreurs introduites par une description monozone d'un logement ne sont pas négligeables si on s'intéresse au comportement thermique dynamique de celui-ci.

Nos résultats sont cohérents avec ceux de certains auteurs (9, 10) qui ont souligné la nécessité d'un découpage réaliste du bâtiment.

Si la description monozone peut sembler satisfaisante pour l'évaluation de valeurs globales sur de longue période (coefficient B), un suivi horaire rigoureux nécessite presque systématiquement l'utilisation d'un modèle multizone.

Le choix du nombre de zone et de leur composition dépend essentiellement de l'objectif fixé (calcul des besoins, de la charge thermique ou évaluation du confort), de l'orientation générale du bâtiment et de son fonctionnement (locaux non chauffés, régulation jour-nuit....).

7. Bibliographie

- (1) Roldan A., Etude thermique et aéraulique des enveloppes de bâtiment. Influence des couplages intérieurs et du multizonage. Thèse de Doctorat, INSA Lyon, décembre 1985.
- (2) Stephenson D.G., Mitalas G.P., Calculation of heat transfer functions for multi layer slabs. ASHRAE Transactions, 1977.
- (3) Walton G.N., A new algorithm for radiant interchange in room loads calculations. ASHRAE Transactions, Part. 2, 1980.
- (4) Allard F., Inard C., Roldan A., Etude comparative de différentes méthodes de modélisation des échanges radiatifs de courtes et grandes longueurs d'onde dans une cellule d'habitation. Annales de l'I.T.B.T.P. n° 442, Fév. 1986.
- (5) Allard F., Brau J., Pallier J.M., Thermal experiments of full scale dwelling cells in artificial climatic conditions. A paraître dans Energy and Building (1987).
- (6) Walton G., Airflow and multiroom thermal analysis. ASHRAE Transactions Part. 2, 1982.
- (7) Dahome E., Modélisation thermique d'un bâtiment. Influence d'une modélisation fine des échanges radiatifs et aérauliques. Thèse de Docteur-Ingénieur, Lyon, Septembre 1983.

- (8) C.S.T.B., Règles Th-B 82. Calcul du coefficient volumique de besoins de chauffage des logements. Cahier du C.S.T.B. 1767, Avril 1982.
- (9) Kusuda T., Walton G.N., Conduction transfer functions and the heat balance method for thermal simulation of multiroom buildings. National Bureau of Standard, Center for Building Technology, rapport interne.
- (10) Laret L., Liebecq G., Convective coupling in multizone building. Effect on thermal behaviour. Séminaire : Le comportement thermique dynamique des bâtiments. I.T.B.T.P., Saint Rémy les Chevreuses, 4 au 6 Décembre 1984.