

SIM_ZONAL : LOGICIEL POUR L'EVALUATION RAPIDE DES TEMPERATURES ET DES MOUVEMENTS D'AIR DANS LE BATIMENT - COMPARAISON AVEC FLUENT-AIRPAK

N. Montois* S. Trompezinski * F. Déqué* E. Wurtz**

* EDF Recherches et Développements, Département ADE B
Les Renardières, Route de Sens, 77818 Moret sur Loing, France
francis.deque@edf.fr

**LEPTAB, Université de la Rochelle, 17042 La Rochelle cedex 1, France.
e.wurtz@univ-lr.fr

RÉSUMÉ

Sim_Zonal est un logiciel permettant de déterminer les champs de températures et les débits d'air dans l'habitat. C'est un outil d'avant projet permettant de calculer les risques d'inconfort thermiques (gradient de températures, risque de courants d'air, inhomogénéité des températures des parois, ...). Dans cet article nous présentons les premiers résultats de comparaison avec Airpak, un outil métier issu du code CFD Fluent. Bien que l'ensemble de l'étude comparative ne soit complètement achevée (comparaison sur un seul émetteur), nous constatons que :

- Il est difficile de comparer des outils dont la conception et les hypothèses sont différentes. Les jeux des données d'entrée ne sont pas toujours de même nature.
- Cependant, les températures d'air obtenues ainsi que le sens de l'écoulement sont semblables dans les deux codes. Seules les valeurs numériques des débits d'air sont différentes. Une phase de calibrage et un maillage plus fin dans Sim_Zonal seraient sans doute nécessaire si l'on voulait se rapprocher d'Airpak.

INTRODUCTION

Sim_Zonal simule les échanges thermiques et aérauliques à l'intérieur d'une pièce afin de déterminer les conditions de confort. C'est un outil de simulation en 3 dimensions destiné à évaluer la qualité des ambiances thermiques dans le cadre d'études de courtes durées, inférieures à la semaine. La première application de ce logiciel a été présentée lors de l'IBPSA 2001 à Rio [1]. Dans cet article, nous rappelons tout d'abord les objectifs du logiciel et les hypothèses de modélisation. Ces hypothèses reposent sur les choix suivants : la méthode zonale [2,3,4] est utilisée pour représenter les écoulements d'air dans la pièce, les échanges par rayonnement sont modélisés par la méthode des enceintes fictives [5] et les échanges par conduction sont décrits par un modèle aux différences finies, réduit par la méthode de Moore [6]. Afin de valider ces hypothèses, nous présentons ensuite la première phase de validation. Il s'agit de comparer les résultats de Sim_Zonal par rapport au code Airpak, outil CFD métier issu de Fluent. Nous montrons tout d'abord les limites de cette comparaison, puis nous présentons les résultats obtenus avec un plancher chauffant. Les résultats obtenus avec Fluent-Airpak permettent d'orienter les futurs développement de sim_zonal.

OBJECTIF DE SIM_ZONAL

Si les modèles à une température par zone sont suffisants pour évaluer les consommations énergétiques d'un bâtiment, il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de prendre en compte les conditions de confort (température tête-pieds, etc.). Il est alors nécessaire de discrétiser le bâtiment en éléments de volumes dont la taille est fonction de la précision des résultats souhaités. Pour obtenir une simulation dynamique permettant de caractériser des éléments de confort sur l'ensemble d'une saison, Sim_zonal exploite différentes techniques de simplification de modèles pour décrire en quelques minutes les champs de température et les écoulements dans une pièce durant toute une saison. Les moteurs de l'écoulement peuvent être soit un émetteur de chaleur, soit une entrée d'air extérieure.

Ainsi, de façon plus détaillée qu'un code énergétique, le logiciel Sim_Zonal a pour but d'évaluer la description des transferts thermiques et aérauliques dans un local, tout en restant simple d'utilisation. L'objectif final est de caractériser le confort thermique (gradient de températures, existence de courants d'air importants, inhomogénéité des températures des parois, ...) et de représenter le comportement des émetteurs (cf Fig 1). Il est complémentaire aux codes CFD car il permet d'obtenir rapidement des résultats en mode dynamique sans pour autant offrir la finesse et la précision de codes comme Fluent ou Flovent.

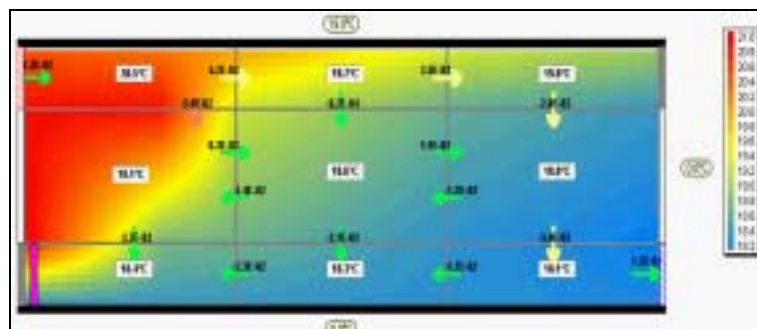


Fig 1 : Températures et débits d'air - chauffage convecteur - plan de coupe

HYPOTHESES DE MODELISATION

Principe

Le principe de la méthode zonale est de découper la pièce considérée en un petit nombre de cellules dans lesquelles on calcule les caractéristiques aérauliques supposées constantes (température, pression, masse volumique...). Le détail des modèles utilisés dans Sim_Zonal est décrit dans le document référence [7]. Nous présentons dans le paragraphe suivant les principales hypothèses de modélisation.

Modèles Zonaux

La méthode zonale repose sur un découpage de la pièce en différentes zones, dans lesquelles on détermine les transferts de masse et d'énergie. Le caractère macroscopique du découpage est compensé par une description aussi précise que possible des écoulements moteurs (jets d'air, panaches). Lorsque l'on se trouve au niveau d'écoulements dominants, des lois spécifiques sont appliquées; en dehors, on simplifie au maximum les lois de manière à limiter les temps de calcul [8]. Pour étudier les différents transferts de masse et d'énergie dans les zones où la vitesse est faible, on considère un modèle zonal en pression. Les lois utilisées sont alors issues des équations de conservation de la masse et de l'énergie. Les variables du problème sont la température, la pression, la masse volumique au centre de chaque cellule ainsi que les débits massiques et flux de chaleur échangés entre une cellule et ses voisines. Dans les zones d'écoulement dominant, on ajoute des équations décrivant les panaches et les couches limites.

Modèles de conduction

Le modèle proposé est une approximation par la méthode des différences finies. De manière à réduire le système, on applique la méthode de réduction de Moore [6]. Les phénomènes de conduction dans les parois sont décrits en régime dynamique :

$$C \cdot T' = A \cdot T + E \cdot U$$

$$Ph_{Cond} = H \cdot T + D \cdot U$$

En appliquant la méthode de Moore, on obtient un système réduit à l'ordre 2.

Modèles de rayonnement

Le système d'équations permettant de décrire les échanges radiatifs de manière exacte est non linéaire. On a donc choisi de simplifier l'expression de calcul du flux radiatif, afin de le rendre linéaire et donc en cohérence avec les autres modèles employés. Pour cela, on utilise la méthode de l'enceinte fictive proposée par Walton [5]. Son principe est de considérer que cette surface i échange avec une unique surface grise fictive qui lui est associée.

SIM ZONAL - FLUENT : DÉMARCHE COMPARATIVE

Cette partie se propose d'exposer, dans un premier temps, les différences d'utilisation des deux codes, Sim_zonal et Airpak. Nous présenterons ensuite la démarche comparative que nous avons mené avec un modèle de plancher chauffant dans un local résidentiel.

Nombre de points de calcul.

Airpak, comme tous les codes CFD, repose sur la résolution des équations de la Mécanique des Fluides (conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement), sur chacune des cellules tridimensionnelles d'une grille discrétisant le domaine à simuler. Airpak utilise une méthode de discrétisation par volumes finis pour résoudre ces équations. Des modèles particuliers peuvent être introduits pour décrire les phénomènes de turbulence dans l'écoulement (k- ϵ , RNG,...). Nous utilisons dans cette comparaison le modèle de turbulence "Indoor zero equation turbulence" développé par Q. Chen [9]. Le nombre de points de calcul étant supérieur à 100 000, nous sommes obligés de moyenniser sur le volume des mailles définies par Sim_zonal, les résultats issus d'Airpak. En effet, dans les simulations réalisées avec Sim_Zonal, nous nous sommes basés sur un maillage 3x3x3, soit 27 nœuds. Ainsi, pour comparer les températures d'air et de parois, nous avons utilisé une fonction d'Airpak permettant de réaliser des moyennes arithmétiques sur un volume donné. Pour les débits massiques, le calcul est plus approximatif, puisque nous sommes passés par des moyennes de vitesses par plan (ex : moyenne des vitesses V_x sur une interface perpendiculaire au plan X), puis nous avons calculé les débits par l'expression: $q_m = \rho_{air} \cdot S \cdot V$
avec q_m = débit massique à travers l'interface S (kg/s)
 ρ_{air} = masse volumique de l'air (kg/m³)
V = vitesse moyenne de l'air à travers l'interface S (m/s)
S = surface de l'interface (m²)

Modèles de bouche et de parois.

Alors que le modèle de plancher chauffant est identique dans les deux outils (condition aux limites en flux dans le plancher), les modèles de bouche d'entrée d'air et de paroi sont modélisés différemment.

Le logiciel Sim_zonal modélise les bouches d'aération par un simple débit massique d'air entrant ou sortant. Il n'emploie pas pour l'instant de modèles de jets. Les surfaces des bouches ne sont donc pas prises en compte.

Dans Airpak, il est nécessaire d'entrer les dimensions, ainsi que la vitesse du fluide entrant ou sortant de la bouche. Connaissant la surface de la bouche, celle-ci peut facilement être ramener à un débit massique. Cependant, pour un même débit massique, la vitesse, fonction de la surface de la bouche, sera plus ou moins importante. Cela aura donc une conséquence non négligeable sur les écoulements d'air dans le local. Nous étudierons donc l'influence de ce paramètre dans les différentes simulations.

Concernant les transferts thermiques à travers les parois, Sim_zonal utilise un modèle réduit 1D, qui ne prend pas en compte de manière spécifique les ponts thermiques. Airpak utilise pour sa part un modèle 2D. Afin de comparer les résultats, nous avons, sous Airpak, supprimé les intersections de paroi (cf Fig 2).

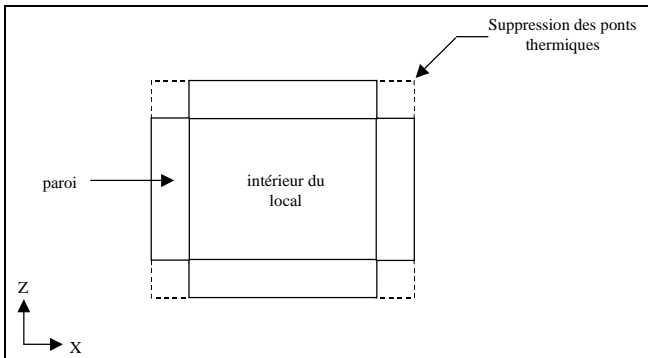


Fig 2 : Coupe transversale du local - suppression des intersections 2D dans Airpak

Démarche comparative : présentation du cas traité.

Les simulations que nous avons réalisées consistent à prévoir l'ambiance thermique à l'intérieur d'un local correspondant à la salle de séjour d'une habitation représentative du parc français. La géométrie du séjour est 4,0m x 7,5m x 2,5m (Largeur x Longueur x Hauteur). Cette pièce comporte deux fenêtres identiques de 2,5m² (1,95m x 1,30m) situées sur les parois Est et Ouest, ainsi qu'une bouche de soufflage sur la paroi Ouest et de reprise sur la paroi Est. Les dimensions de ces bouches d'aération sont 0,2m x 1,0m (cf Fig 3). Les murs Est, Ouest ainsi que les combles sont à la température extérieure. Les murs Sud et Nord ont des conditions aux limites en température égales à 20 °C.

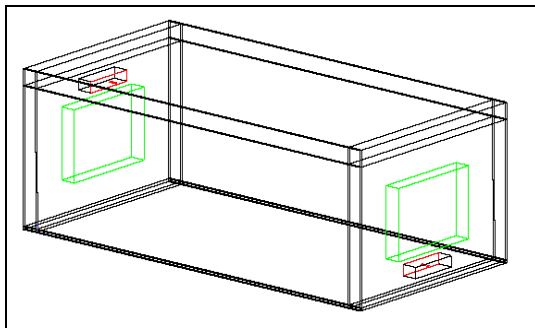


Fig 3 : Vue 3D du local

Toutes les simulations effectuées sont basées sur des conditions aux limites suivantes (cf Tableau 1).

Puissance de l'émetteur	1000W
Température extérieure	5°C
Taux de renouvellement d'air	0,5vol/h
Dimension des bouches	0,2x1,0m

Tableau 1 : Conditions aux limites standards

Partant de cette simulation de base, nous faisons varier successivement les principaux paramètres susceptibles de modifier le comportement aéralique et thermique de cette pièce

- La puissance du plancher (500; 1000 et 2000W)
- Le taux de ventilation (0,5; 1 et 2 vol/h)
- Les conditions extérieures en température(0; 5;10°C)

- Les dimension de la bouche d'entrée d'air (0,2x1,0; 0,4x1,5).

Maillage

*Cas Airpak.

Le maillage utilisé pour cette étude est un maillage de type hexaédrique. Nous l'avons réalisé de telle sorte qu'il soit assez fin au niveau du plancher, c'est-à-dire là où les mouvements d'air seront les plus importants. Ce maillage comporte 130 000 nœuds.

*Cas Sim_Zonal.

La pièce a été discrétisée suivant un maillage de 27 cellules (3x3x3) défini comme suit (cf fig 4) :

- Selon l'axe Ox (axe Ouest-Est), 3 segments de maille. Leurs dimensions respectives sont 2,5m; 2,5m; 2,5m.
- Selon l'axe Oy (axe Sud-Nord), 3 segments de maille. Leurs dimensions respectives sont 1,025m; 1,95m; 1,025m.
- Selon l'axe Oz (axe Bas-Haut), 3 segments de maille. Leurs dimensions respectives sont 0,6m; 1,3m; 0,6m.

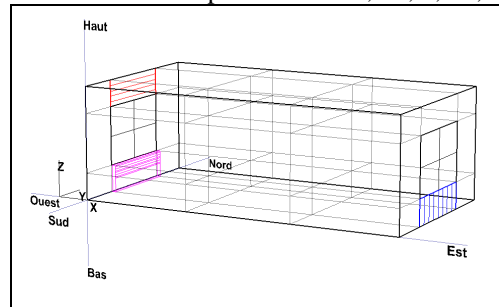


Fig 4 : maillage de Sim_Zonal pour cette étude

RÉSULTATS

Les premiers résultats concernent les écarts en température sur le cas de base (cf tableau 1). Nous observons d'abord que la moyenne des températures sur l'ensemble de la pièce est très proche (21,8 dans Sim_Zonal - 21,9 dans Airpak). La figure 5 détaille les résultats des 27 sous volumes. (Légende : Txyz avec x direction Ouest-Est, y Sud-Nord et z Bas-Haut – cf figure 4).

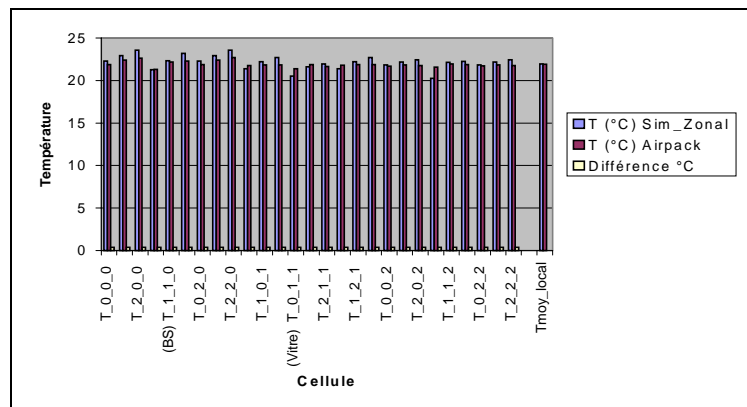


Fig 5 : Températures d'air par sous volumes et global

Nous constatons que mis à par la cellule correspondant à l'entrée d'air (T_0_1_2) l'écart de température est de l'ordre

de 0,5°C. L'écart de 1,2°C sur la bouche d'entrée d'air s'explique par des conditions aux limites de nature différentes (débit pour Sim_zonal - vitesse pour Airpak).

Si nous faisons varier les paramètres de puissance de l'émetteur, nous constatons sur la figure 6 que les écarts augmentent avec la puissance de l'émetteur (maximum 2°C sur la cellule de la bouche d'entrée d'air).

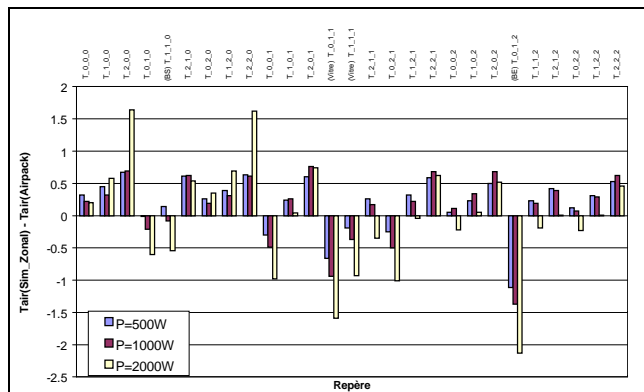


Fig 6 : Ecart en température en fonction de la puissance de l'émetteur.

Il faut noter cependant que plus la puissance augmente, plus nous éloignons de cas réalistes, puisque qu'avec 2000 W nous obtenons des températures moyennes dans la pièce de l'ordre de 30°C.

La tendance observée sur la variation de la puissance de chauffage est la même que celle observée sur les variations des paramètres 'débit d'air' et 'température extérieure'. Plus les conditions aux limites s'écartent de la simulation standard, plus les résultats de Sim_Zonal s'écartent des résultats d'Airpak. Les écarts restent cependant (cf figure 7) de l'ordre du degré.

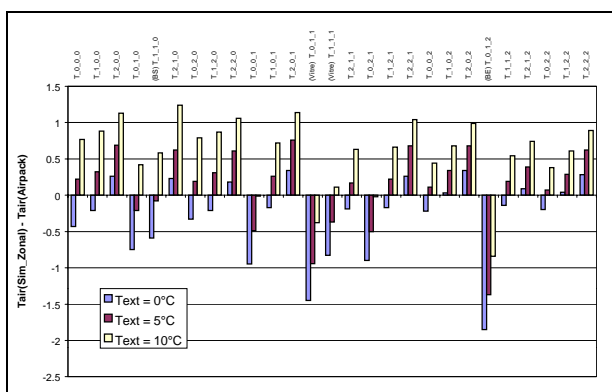


Fig 7 : Ecart en température en fonction de la température extérieure.

On constate enfin que l'influence de la dimension de la bouche d'entrée d'air sur les températures n'est pas significative, pour autant que l'on reste dans des cas réalistes.

La seconde série de résultats concerne les mouvements d'air dans la pièce avec le calcul des débits massiques. Nous observons sur l'ensemble des résultats que le sens des écoulements est identiques dans les deux codes, mais que les valeurs des débits peuvent avoir des écarts très importants - rapport maximum de 1 à 5 - suivant les configurations et les plans traités. La figure 8 illustre ce propos.

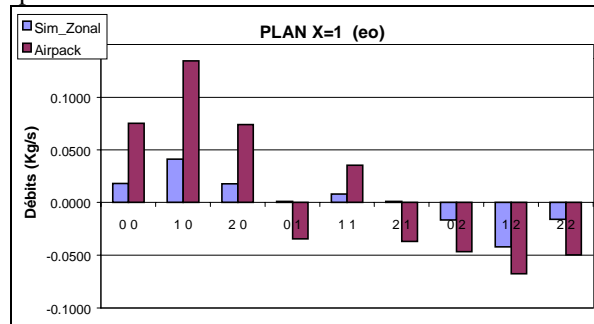


Fig 8 : Débits par zones - direction d'écoulement Est-Ouest.

On constate ensuite que Sim_zonal reste cohérent sur l'ensemble des études paramétriques réalisées. La figure 9 illustre le cas des variations de puissances de chauffage dans le même plan.

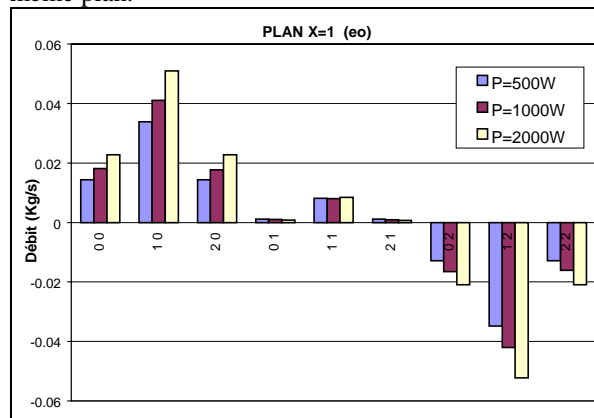


Fig 9 : Débits par zones dans Sim_Zonal - variation de la puissance de l'émetteur.

Nous tirons de ces comparaisons sur les débits massiques les premières conclusions suivantes :

- *La difficulté de comparer a priori des débits massiques entre un code CFD et un code zonal est confirmée : calculer des débits à travers des surfaces de l'ordre de 3m² à partir d'un champ de vitesse détaillé est peu représentatif.
- *Les vitesses obtenues (de l'ordre de 0,1m/s) sont faibles et ne sont pas forcément représentatives de la réalité que ce soit pour Sim_Zonal ou Airpak. Les résultats en cours d'analyse sur un convecteur seront sans doute plus intéressants.
- *Airpak donne accès aux principales structures tourbillonnaires existants dans le local. Sim_Zonal, quand à lui, ne capte que les tendances d'écoulement d'air.

CONCLUSIONS

La comparaison entre les modèles zonaux utilisés dans Sim_Zonal et le code aux éléments finis Airpak a permis de montrer que pour l'émetteur "plancher chauffant", les résultats obtenus avec Sim_Zonal sont très satisfaisants pour l'évaluation du champ des températures.

En règle générale, les écarts sur les grandeurs moyennes entre les deux codes restent de l'ordre du dixième de degré. Les écarts sur les températures d'air par zones sont, quand à eux, autour de 0,5°C.

En ce qui concerne les échanges aérauliques, les résultats sont conformes à ceux attendus. Sim_Zonal est un code destiné à fournir des résultats d'avant projet et est moins précis que les codes CFD. Par contre il permet de réaliser des simulations dynamiques sur l'ensemble d'une saison de chauffage avec des temps de simulation de quelques minutes. Des différences dans la conception même des deux logiciels font que certaines grandeurs sont difficilement comparables. On peut toutefois tracer des voies de développement sur Sim_Zonal pour continuer cet exercice de comparaison. Pour cela nous pouvons tout d'abord augmenter le nombre de noeuds et voir si les résultats tendent vers ceux du code CFD. Nous pouvons aussi calibrer Sim_Zonal sur Airpak en réglant le coefficient de perméabilité de la loi débit/pression. Les premières tendances montrent que si l'on augmente ce coefficient de 1,2 (valeur initiale) à 5, on se rapproche des résultats d'Airpak sans que le sens des écoulements soit modifié (cf figure 10). Cette tendance n'est pas forcément généralisable.

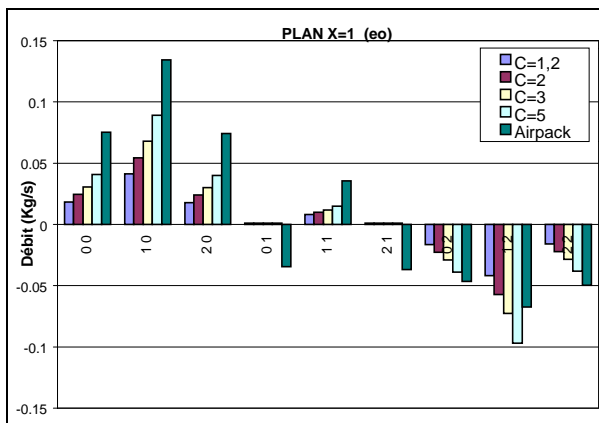


Fig 10 - Modification de la loi débit/pression dans Sim_Zonal

Enfin, comme pour tous les codes de calculs, qu'ils soient de types zonaux ou aux éléments finis, il est essentiel de toujours garder un esprit critique face à une solution numérique limitée à une seule expérience comparative. D'autres travaux sont ainsi en cours pour comparer Sim_Zonal et Airpak sur d'autres émetteurs (convecteur et ventilo-convecteur), comparer Sim_Zonal à d'autres codes CFD (StarCD®) et enfin effectuer des comparaisons avec des données expérimentales.

RÉFÉRENCES

- [1] F. Déqué and al. 'Sim_zonal : software evaluating indoor temperature distributions and air movements for rapid appraisals - first application' *IBPSA RIO, 13-15 August 2001*.
- [2] F. Allard and C. Inard 'Natural and mixed convection in rooms : prediction of thermal stratification and heat transfer by zonal models' *1992 Int. Symp. on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, ISRAVE, Tokyo (Japan), 22-24 July 1992*.
- [3] E. Wurtz. 'Modélisation tridimensionnelle des transferts thermiques et aérauliques dans le bâtiment en environnement orienté objet', *Thèse de Doctorat, Ecole Nationale de Ponts et Chaussées, 1995*.
- [4] M. Musy 'Génération automatique de modèles zonaux pour la description du comportement thermo-aéraulique des bâtiments', pp 170-179, *Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle, 1999*.
- [5] G.N. Walton. A new algorithm for radiant exchange in room loads calculations. *A.S.H.R.A.E. Transactions*, vol 86, Part II p190-208, 1988
- [6] F. Déqué, S. Dellile, S. Dautin 'Réduction de systèmes linéaires par la méthode Moore : Application à la thermique du bâtiment' *Rev. Gén. de Thermique, n°36, 1997*.
- [7] E. Wurtz, F. Déqué, M. Musy, L. Mora 'A thermal and air flow analysis tool using simplified models based on the zonal method' *Clima 2000, Napoly, Sept 2001*.
- [8] E. Wurtz, M. Musy, F. Allard. 'Modélisation d'un panache d'émetteur de chaleur pour le logiciel de simulation énergétique des bâtiments' *SPARK, Int. J Therm. Sci n°39(3) pp433-441, 2000*.
- [9] Q. Chen and W. Xu. 'Indoor zero equation turbulence', documentation Fluent France - tél 33 1 30 60 98 97.