



Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur

# ADNBATI : Vers une Amélioration de la Description Numérique globale des flux dans les BÂTiments



*Michel Pons, CNRS-LIMSI Orsay*

*Alain Bastide, Boris Brangeon, PIMENT, La Réunion*

*Etienne Wurtz, Louis Stephan, LOCIE, Le Bourget-du-Lac*

*et aussi Chadi Maalouf, GRESPI, Reims*

*Cécile Goffaux, CENAERO, Gosselies (Belgique)*

*Arnaud Jay, LEB-CEA/LITEN, Le Bourget-du-Lac*



Colloque Énergie 2011

28-30 mars 2011

**A**mélioration de la

**D**escription

**N**umérique du

**B**âtiment

**A**

**T**

**I**

**Projet Exploratoire  
PE09-3-2-1-1  
du Programme Énergie  
2009-2010  
du CNRS**



Avec Alain Bastide et Boris Brangeon  
(PIMENT ex-LPBS,  
St-Pierre de la Réunion)

et

Etienne Wurtz et Louis Stephan  
(LOCIE, INES, Le Bourget du Lac)

<http://adnbati.limsi.fr>

Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur

Colloque Énergie 2011

# Simuler les flux d'air dans les bâtiments

- Un nouveau besoin, pour ...
  - ... une meilleure qualité de l'air
    - = éviter des accumulations de polluant ou de vapeur d'eau dans des boucles de recirculation,
  - ... une facture énergétique réduite
    - = par exemple utiliser la ventilation nocturne
- ... mais aussi avec le besoin d'une « assez bonne » précision.



# Outils actuels de calcul des écoulements

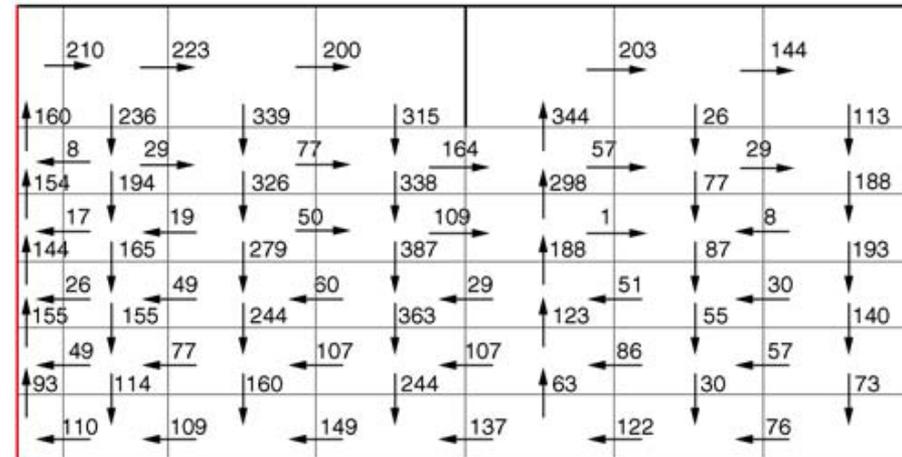
- Formules analytiques phénoménologiques (nécessitant très peu de données) :

$$\dot{m} = F(A_{fen}, V_{vent}, \Delta T, C_x)$$

- Modèles nodaux (1 nœud par pièce, avec relations  $V-\Delta P$  du type pertes de charge, résolution par réseau).

- Modèles zonaux : Écoulement évalué par relations vitesse-pression type Bernoulli.

- $7 \times 3 \times 6$  zones (126) pour volume de  $6.2 \times 3.1 \times 2.5$  (m). (0.7x0.7x0.7m)



Source : Boukhris, Gharbi & Ghrab-Morcos, *Building Simulation*, **2(1)**, 67–74, (2009).



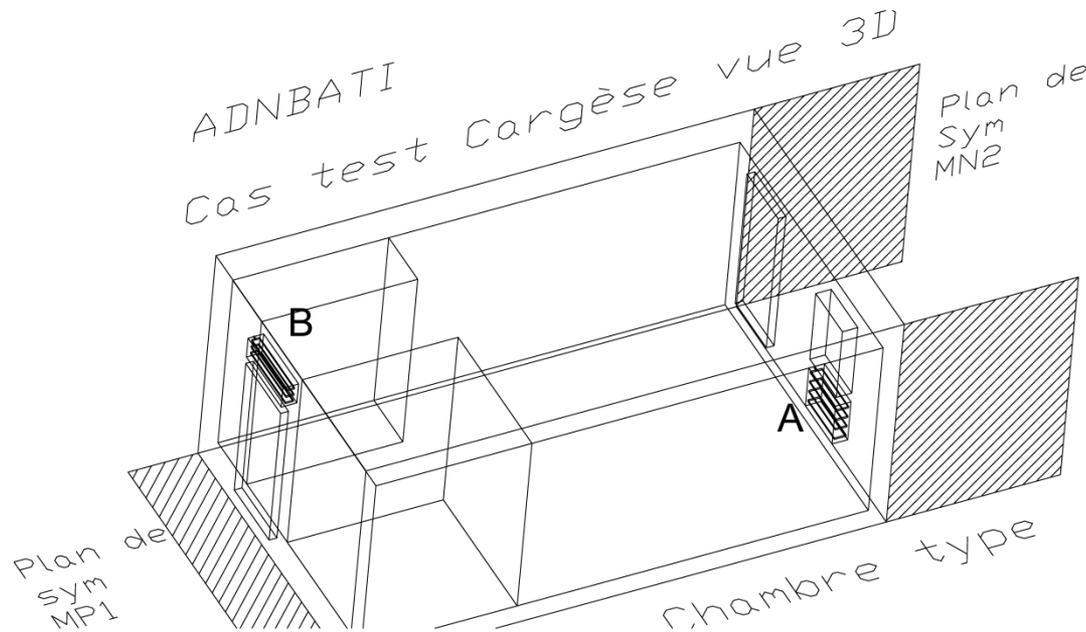
# Définition d'un cas-test commun pour ...

- ... relier l'approche « *MFN* », avec ses questions plutôt académiques (*Maillage suffisamment résolu espace et temps ? Schéma numérique convergent ? stable ? Modèle de turbulence adapté aux forts Reynolds mais à basse vitesse ?*) et un vrai point dur de la MFN : la **convection naturelle en milieu ouvert**,
- ... et l'approche « *bâtiment* » à travers un cas réel.

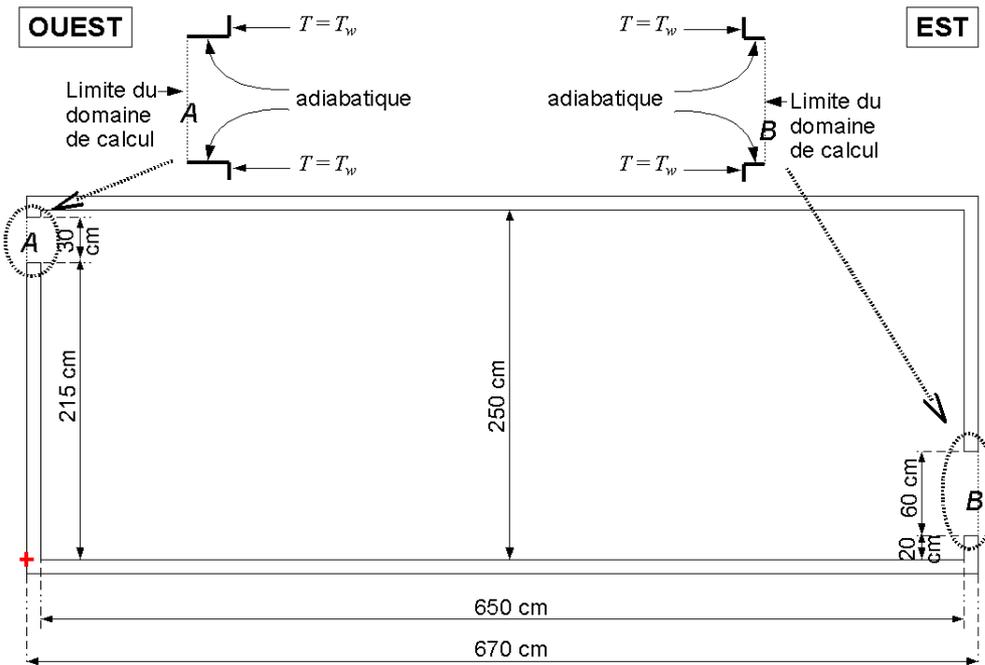


# Un bâtiment réel, mais très simple ...

- Un bâtiment très simple :  
juste une chambre générique du nouveau bâtiment d'accueil  
de l'Institut d'Études Scientifique de Cargèse,  
avec une ouverture basse côté Est (A)  
et une ouverture haute côté Ouest (B).



## ... puis simplifié jusqu'au 2D .



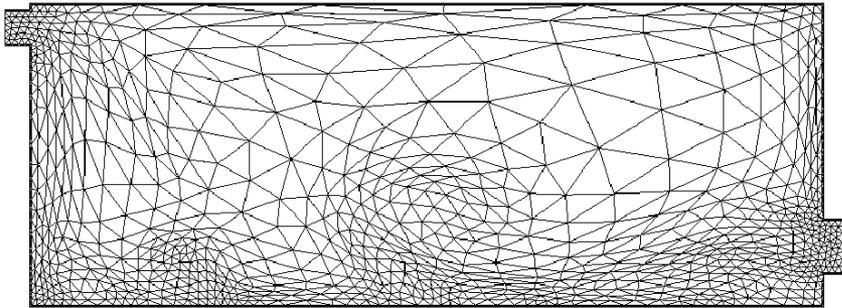
- Murs intérieurs isothermes ( $25^\circ\text{C} + \Delta T$  ; avec  $\Delta T = 0,1$  ou  $0,5$  K) ;
- Air extérieur à  $25^\circ\text{C}$  ;
- Les deux ouvertures (A et B) libres d'obstacles ;
- $Ra = 1.43 \times 10^8$  ou  $7.15 \times 10^8$  (turbulence limitée).

- C'est *a priori* sur ce cas commun que les améliorations numériques ont été testées.



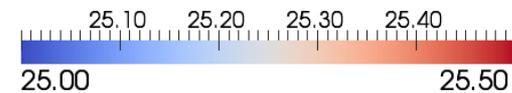
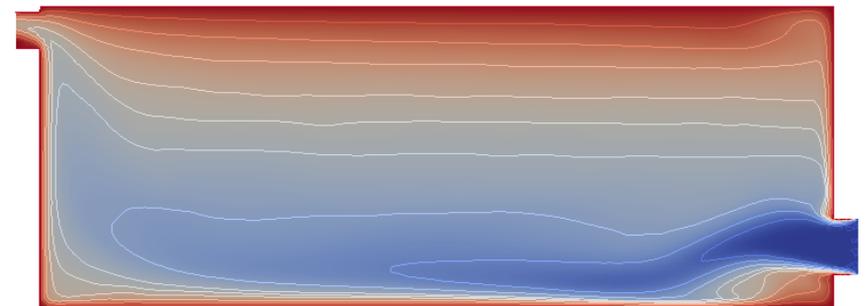
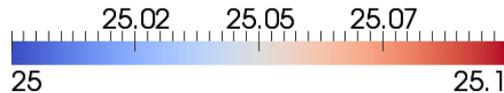
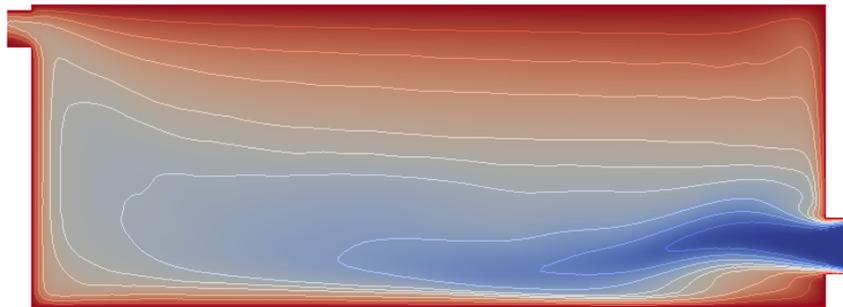
# Améliorations Numériques (1 : LOCIE – INES)

- Modèle Navier-Stokes par éléments finis avec maillage adaptatif sur une base FreeFem++.



*Un maillage instantané*

	Initialement	$t = 3600$ s
Nb de points	12000	1200
Temps CPU	10	0.3



*Champs de température moyenne*



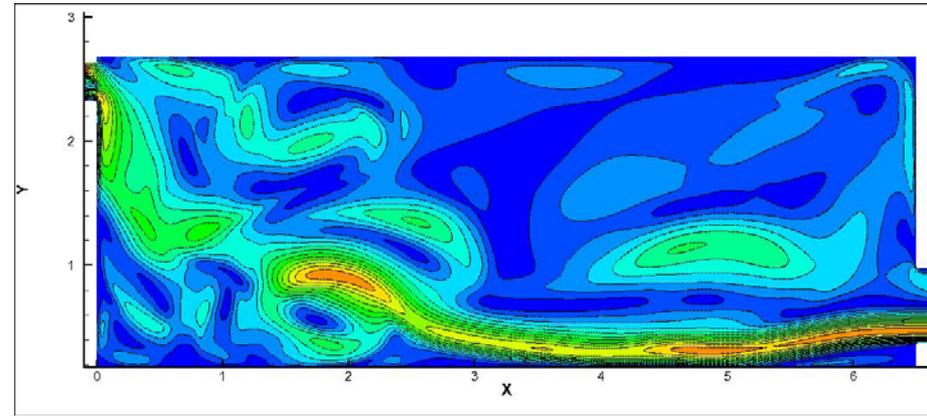
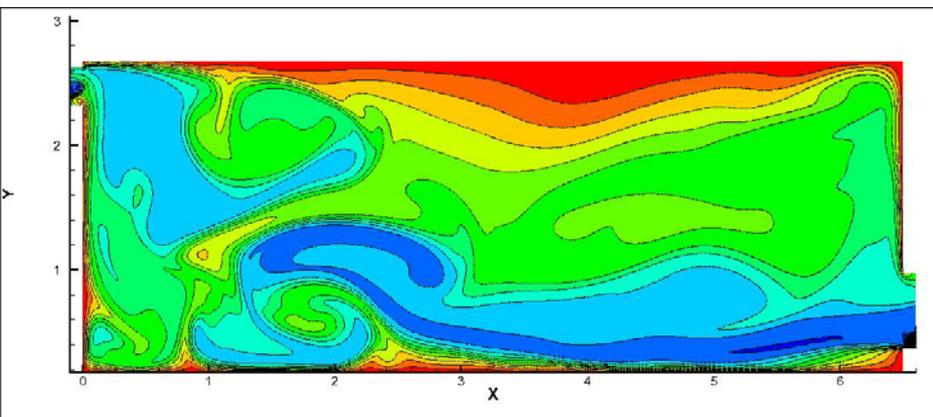
# Améliorations Numériques (2 : PIMENT)

- Modèle Navier-Stokes par différences finies, avec modèle « LES hybride » adapté à l'habitat (sur base OpenFoam).

$$\tau_{ij} - \frac{1}{3}\tau_{kk}\delta_{ij} = -2(C_1\Delta)^2 |\bar{S}| S_{ij} + C_2 f_1(u_k, k, \varepsilon)\delta_{ij}$$

$$\Delta = \max((\Delta_x\Delta_y\Delta_z)^{\frac{1}{3}}, K), K = f_2(u_k, k, \varepsilon)$$

où les fonctions  $f_1$  et  $f_2$  sont des corrélations obtenues à partir de réalisations DNS.

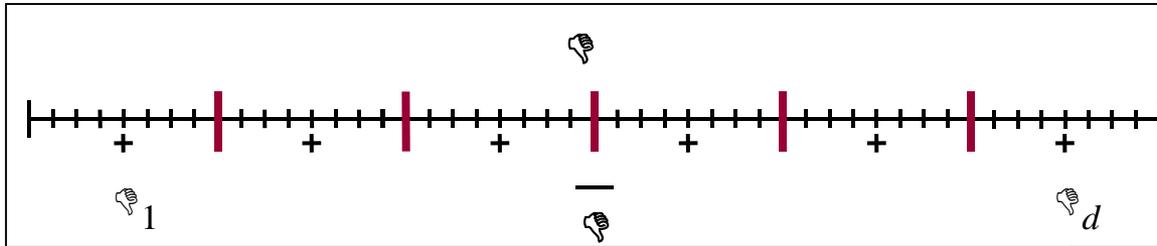


Température et module vitesse pour  $\Delta T = 0.1$  K.



# Améliorations Numériques (3 : LIMSI)

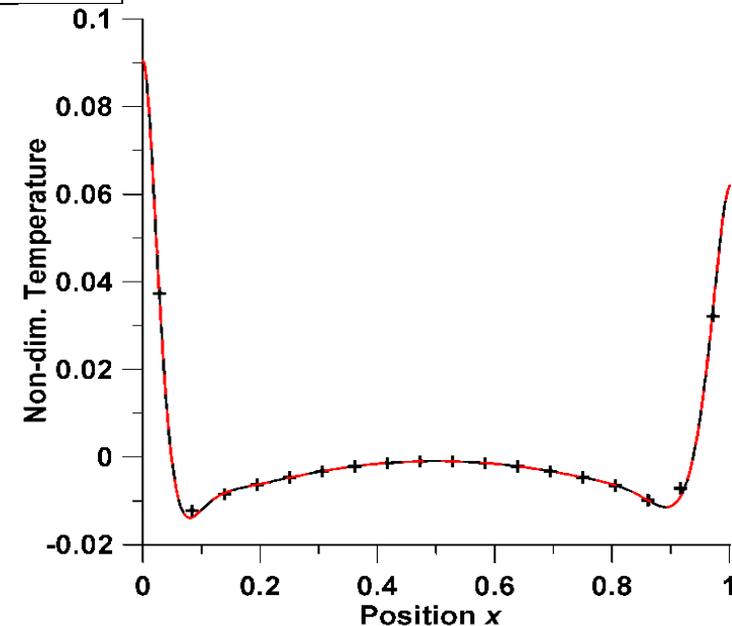
- Méthode multi-niveau pour transferts couplés (conduction-convection & rayonnement)



$$\partial_t (\rho c_p \bar{T}) = -\bar{\nabla} \cdot \bar{\mathbf{J}}_q - \bar{\nabla} \cdot (\rho c_p \bar{T} \bar{\mathbf{u}}) + \bar{\sigma}_q$$

$$\bar{\sigma}_q = \frac{1}{|D_i|} \left\{ \int_{D_i} \sigma_q + \int_{\partial D_i} [(\bar{\mathbf{J}}_q + \rho c_p \bar{T} \bar{\mathbf{u}}) - (\mathbf{J}_q + \rho c_p T \mathbf{u})] \cdot \mathbf{n} \right\}$$

- Problème instationnaire avec conduction, convection et rayonnement pariétal :  
valeurs *locales* idem méthode directe,  
valeurs *globales* bien représentatives.



# ADNBATI = un benchmark, un groupe de travail

<http://adnbati.limsi.fr>

- **But : comparer les méthodes de simulation des transferts** par flux d'air dans le bâtiment, depuis les formules analytiques jusqu'à la MFN (presque) résolue.
  - *Rassembler bureaux d'études et laboratoires de recherche dans une réflexion collaborative sur les méthodes.*
- Constitution d'un groupe de travail sur ce benchmark et cette comparaison.



energie atomique • energies alternatives



Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur

Colloque Énergie 2011

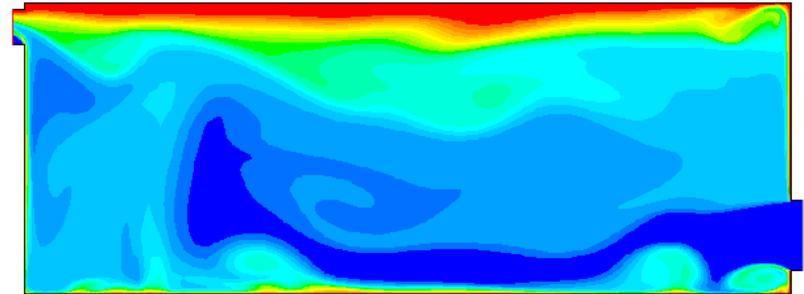
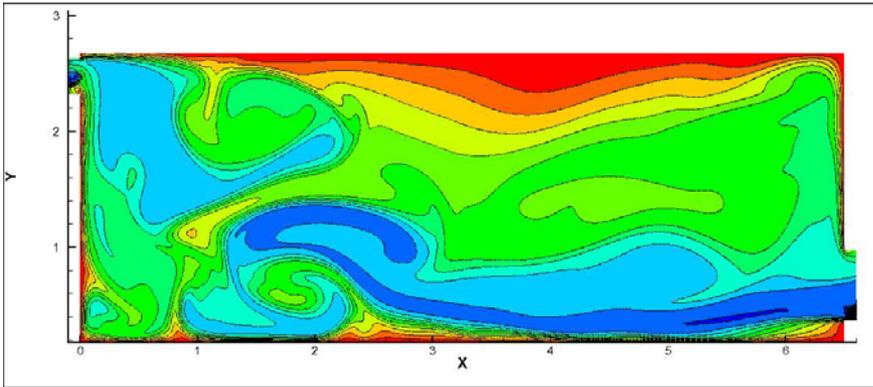
# Hypothèses numériques

- Pas de modèle de turbulence.
- Conditions aux limites aux ouvertures :
  - Thermique : le fluide entre à 25°C ;  
adiabaticité là où le fluide sort.
  - Dynamique : non-réflexion à la frontière ( $\nabla \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} = [\mathbf{0}]$ ),  
plus une relation entre  
les pressions moyennes à l'entrée / sortie  
et l'énergie cinétique à l'entrée :

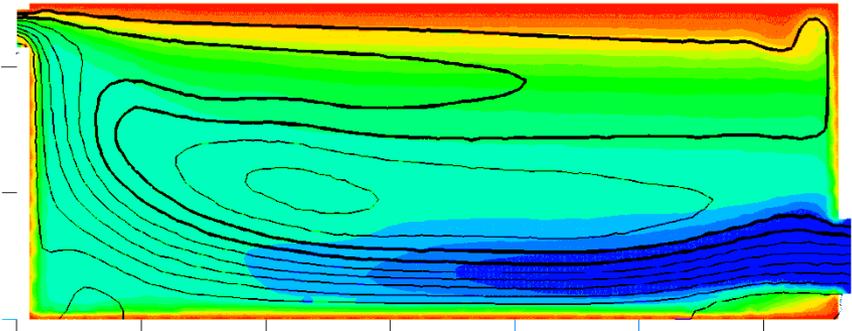
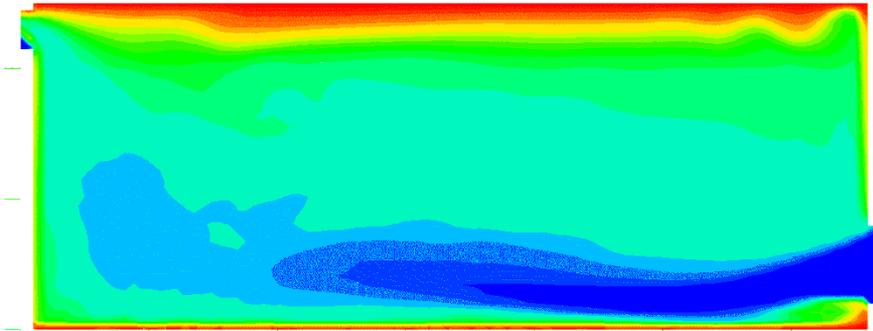
$$\int_{\text{sortie}} (p + \rho g z) \cdot dA - \int_{\text{entrée}} (p + \rho g z) \cdot dA = \int_{\text{entrée}} \frac{1}{2} \rho |\mathbf{v}|^2 \cdot dA$$



# Comparaison qualitative (température)



- En instantanés.

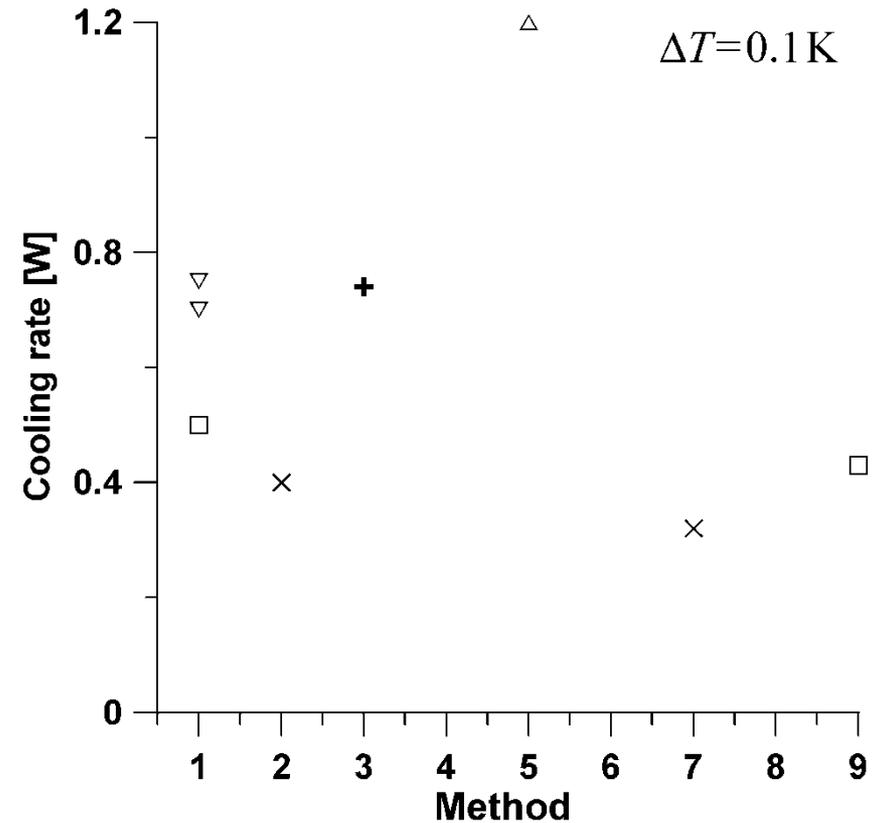
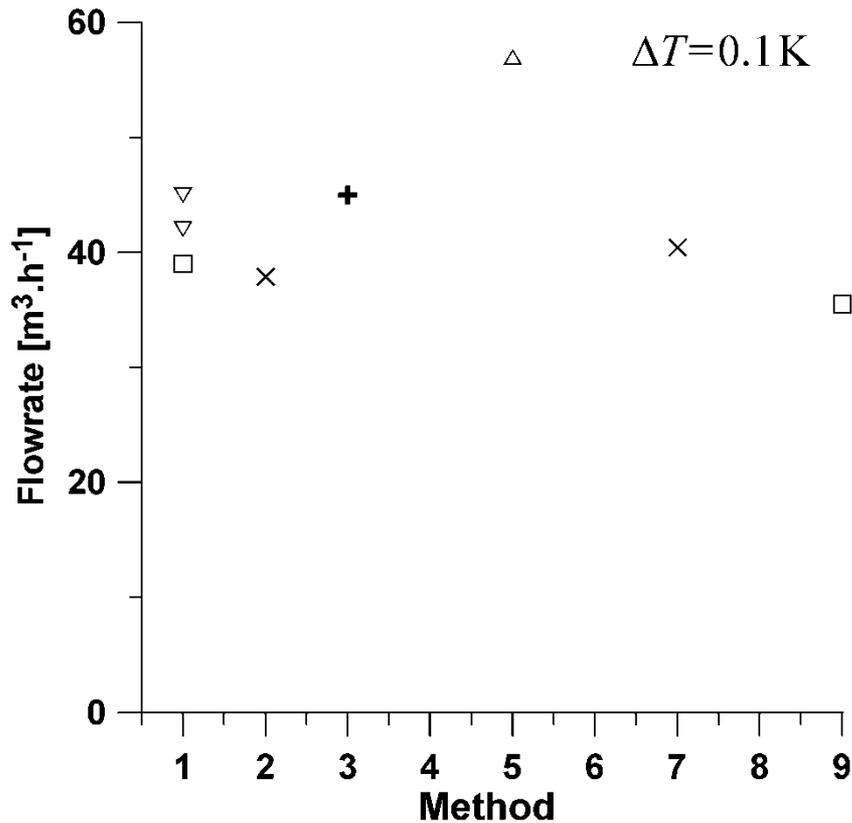


- En moyenne.

- Assez bonne cohérence qualitative :  
écoulement moyen rampant, avec advection de panaches.



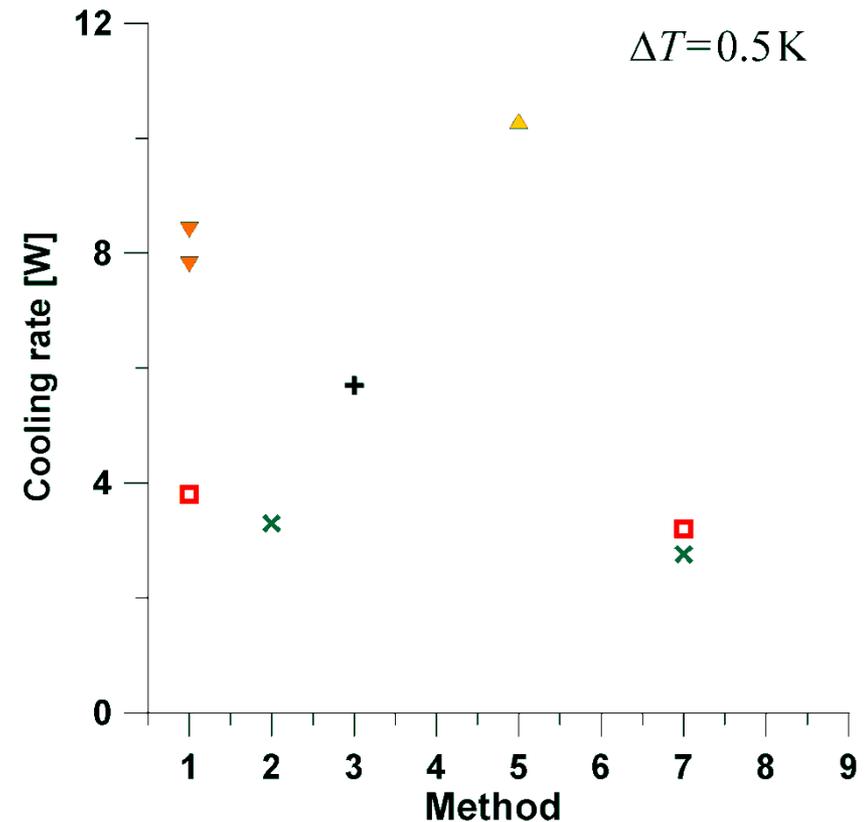
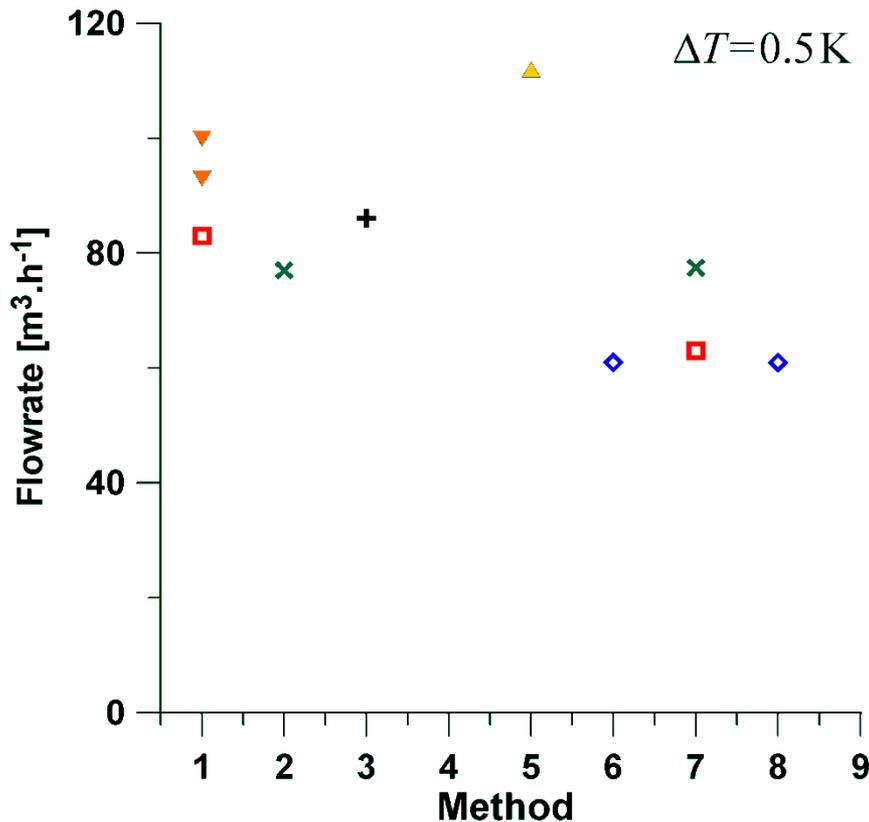
# Comparaison quantitative pour $\Delta T = 0.1 \text{ K}$



- Résultats en relative cohérence, malgré un point très singulier.



# Comparaison quantitative pour $\Delta T = 0.5 \text{ K}$



- Hormis un point très singulier, la cohérence des résultats est assez bonne. À améliorer : l'évaluation de la température interne.



# Un début plus qu'une conclusion

- Qualitativement : assez bon accord
- Quantitativement : des différences qui restent à analyser
  - Projet : transformer la dynamique créée dans ce groupe de travail en un projet ANR.



# Publications

- **Deux Conférences Internationales**

- B. Brangeon, A. Bastide, P. Joubert, M. Pons. Numerical investigation of natural convection in a cavity using an open geometry. *12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate (Indoor Air)*, June 2011, Austin, Texas, 6p.
- B. Brangeon, A. Bastide, P. Joubert. Numerical investigation of airflow in an open geometry. *12th International Conference on Air Distribution in Rooms (Roomvent)*. June 2011, Trondheim, Norway, 8p.

- **Deux Conférences Nationales**

- Pons M., Chhay M., Chergui J., et Wurtz E., Une méthode multi-niveaux pour coupler radiation et advection-diffusion, *Énergie solaire et thermique Actes Congrès Français de Thermique SFT 2011*, 24-27 mai, Perpignan, 6 p., 2011.
- B. Brangeon, A. Bastide, P. Joubert, et M. Pons, Étude numérique de la ventilation traversante naturelle dans une cavité ouverte - Application au rafraîchissement passif des locaux, *Énergie solaire et thermique Actes Congrès Français de Thermique SFT 2011*, 24-27 mai, Perpignan, 6 p., 2011.

- **Trois articles de revue en préparation (LOCIE, PIMENT, LIMSI)**



# Merci pour votre attention ... et vos questions

- Merci aussi à  
Cécile Goffaux (CENAERO), Chadi Maalouf (GRESPI),  
Arnaud Jay (CEA-LITEN-LEB), Patrick Salagnac (LEPTIAB)  
pour leurs gracieuses et riches contributions,
  - ... à M. Pauly (NOBATEK )  
pour son accompagnement,
  - ... à A. Sergent et Y. Fraigneau (CNRS-LIMSI)  
pour leur étude des conditions aux limites,
- et au Programme Interdisciplinaire Énergie du CNRS.





# Maillages – modèles - dimension

	<b>PIMENT</b>	<b>LOCIE</b>	<b>CEA-LEB</b>	<b>CENAERO</b>
Type de modèle, source	Volumes finis, Piment / Openfoam	Éléments finis, FreeFem <sup>++</sup>	Volumes finis, Fluent <sup>®</sup>	Volumes finis, Fluent <sup>®</sup>
Équation traitée	NS	NS	NS	NS – RANS
<b>Dimension</b>	<b>2D</b>	<b>2D</b>	<b>3D</b>	<b>3D</b>
Nombre cellules (taille)	49 360 structuré (1-1,2 mm)	2 500 adaptatif (0,5-70 cm)	226 000 (1–5 cm)	900 000 (1–10 cm)

- Approximation de Boussinesq.



# Suite en projet pour mars : calculs 2D en vue d'un article de revue (et de l'inauguration du bâtiment)

- Maillage fin, quasi DNS avec  $y^+$  de l'ordre de 1 :  
code DNS académique (Piment, Locie) - Fluent résolu sans modèle  
(CENAERO)

- Maillage sous-résolu

Fluent sous-résolu, avec ou sans modèle RANS (CEA-LEB) – Openfoam natif, LES pénalisée (Piment) – Design-Builder  $k-\varepsilon$  (NOBATEK)

- Méthode zonale

(maillage très grossier en « zones »)  
**(qui ??? Appel à volontaires).**

- Méthode nodale

(une seule « zone ») – TRNSYS (CENAERO + Univ. Cath. Louvain)

- Approche semi-empirique – (Leptiab)

