

## SIMULATION DES EFFETS COMBINES DE TIRAGE THERMIQUE ET AERODYNAMIQUE DANS LES GRANDS VOLUMES

X. Faure\*, S. Sanquer et A. Pignolet  
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)  
11 rue Henri Picherit, 44323 Nantes  
[xavier.faure@cstb.fr](mailto:xavier.faure@cstb.fr), [stephane.sanquer@cstb.fr](mailto:stephane.sanquer@cstb.fr)

### RESUME

Un dispositif expérimental d'un volume de  $1\text{m}^3$ , chauffé sur une surface interne, est mis au point et disposé en soufflerie pour simuler les rapports de forces entre les effets thermiques et les effets du vent dans un grand volume de type atrium. Les régimes de ventilation par déplacement initialement établi sans vent sont modifiés en régime de ventilation mixé selon la force du vent simulé. Le positionnement au vent ou sous le vent des ouvrants impacts fortement sur les phases de transition. Ces mesures ont permis d'identifier les niveaux de vent requis pour faire transiter les régimes de ventilation. Toutefois, les faibles vitesses de vent et les fortes turbulences associées limitent l'utilisation des résultats pour une validation des codes numérique.

### 1. INTRODUCTION

Les bâtiments disposant de grands volumes intérieurs –Atrium, gares – sont difficiles à concevoir car ils sont parfois sources de consommation excessive d'énergie et sources d'inconfort (forte stratification, mouvement d'air). Le renouvellement de l'air intérieur dans ce type d'architecture doit être ajusté afin de privilégier à la fois les aspects énergétiques, les aspects de confort et les aspects sanitaires. Les concepteurs ont alors besoin d'outils de prédiction physique ou numérique dédié à l'optimisation des stratégies de ventilation des grands volumes.

Dans ce type de typologie architecturale, les forces de flottabilité associées aux différences de température (ascensionnelles) sont du même ordre de grandeur que les forces d'inertie associées au vent. Le souhait d'établir une ventilation naturelle implique l'étude fine des phénomènes thermiques et aérauliques, incluant les effets du vent extérieur. L'utilisation d'outils numériques pour ce type d'approche est rendu difficile pour deux raisons : fiabilité des outils pour des nombres de Richardson compris entre 0.1 et 1 et temps de calcul. Les tailles de mailles en zone proche paroi doivent être suffisamment fines pour prendre en compte les forces motrices au sein de la couche limite thermique ( $y^+$  proche de l'unité). L'outil numérique est alors utilisé généralement comme complément aux approches expérimentales pour des zones bien définies du volume [1]. Concernant les techniques expérimentales, trois approches sont identifiées [2] : utilisation d'air couplé avec des gaz et/ou des éléments chauffants (approche thermo-aéraulique), utilisation d'eau et d'éléments chauffants (approche thermo-hydraulique) ou utilisation d'eau avec d'injection d'une concentration salée (approche solutale). Parmi les études expérimentales recensées, ces dernières s'orientent soit pour la définition quantitative d'une grandeur en particulier ([2]), soit comme approche qualitative sur les scénarii de ventilation probables ([3], [1]). Des compromis sont nécessaires entre le respect des critères de similitude thermique et la reproduction exacte des structures d'écoulement. Awbi ([4]) propose de privilégier un critère de similitude plutôt qu'un autre selon les régimes des phénomènes impliqués. Cette approche est plus complexe lorsque l'on considère les fluctuations des conditions limites dans le temps ou que le volume lui-même comprend des phases de transition. Linden ([5]) propose un état de l'art encore largement repris aujourd'hui sur le mécanisme de la ventilation naturelle. Il met en évidence notamment les difficultés et le manque de connaissance sur l'impact du vent sur les mouvements convectifs. La nature instationnaire du vent extérieur implique un couplage complexe entre les deux phénomènes.

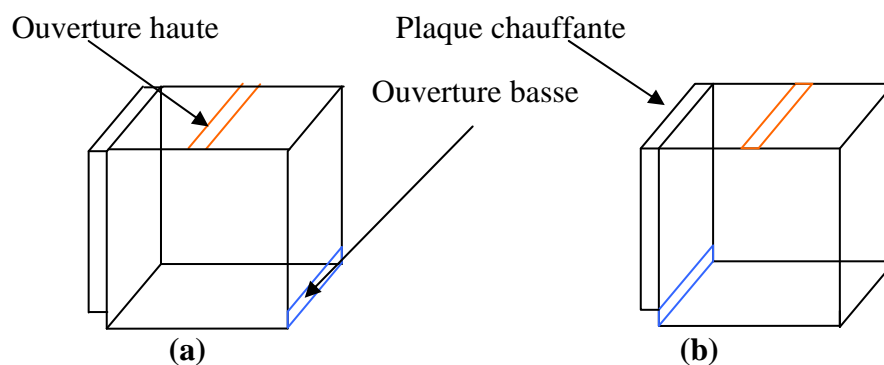
Des approches plus globales sont aujourd'hui étudiées à partir de modèles analytiques et d'hypothèses sur le type de ventilation (mixée ou par déplacement). La multiplicité de solutions stables pour les mêmes conditions limites a été étudiée ([6], [7], [8]). Certaines études analysent la manière de passer d'une solution à une autre en intégrant des perturbations (apport de chaleur ou perturbation en pression) ([9], [10]).

Dans le cadre de la définition des outils d'expertise et d'aide à la conception, un axe à plus long terme consiste à définir des corrélations empiriques sur des variables globales. Ces variables sont hauteur de stratification, débit de renouvellement d'air, gradient thermique. Sans reproduire la physique fine très complexe, issue du couplage de la thermique et de la cinématique, il convient de reproduire le comportement global de ces variables. Un premier travail consiste alors à construire une base de données expérimentales afin de valider les codes numériques. Les outils numériques, une fois validés, permettront de définir des corrélations empiriques applicables à plusieurs échelles. Ces corrélations devront ensuite être confrontées à des mesures expérimentales sur des échelles intermédiaires.

Le travail présenté dans ce document concerne l'élaboration d'une base de données expérimentale. Les moyens d'essais, les conditions limites et l'instrumentation seront tout d'abord présentés. Les résultats des mesures obtenues pour deux configurations sont ensuite présentés et discutés. Une conclusion ciblée à la fois sur les moyens mis en place ainsi que sur les résultats des mesures est enfin proposée.

### 3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Une maquette à échelle réduite (échelle de l'ordre du 10<sup>ème</sup>) a été conçue pour reproduire une source chaude sur un mur vertical (représentant une tache solaire dans une situation réelle). Le dispositif expérimental mis en œuvre est un volume de 1 m<sup>3</sup>, chauffé d'un côté à 80°C et disposant de deux ouvrants : l'un en pied de façade au vent ou sous le vent, l'autre au centre de la toiture. Le module est placé en soufflerie de manière à reproduire l'interaction entre le vent et l'enveloppe du bâtiment. Les deux configurations sont schématisées dans la figure 1.



**Figure 1 : Configurations étudiées l'ouverture basse est au vent pour la configuration 1 (a) et sous le vent pour la configuration 2 (b).**

Les figures suivantes présentent le dispositif dans la soufflerie à couche limite atmosphérique du CSTB de Nantes.



**Figure 2 : Dispositif expérimental en soufflerie, face au vent (a), et face sous le vent (b)**

Une des surfaces est chauffée au moyen d'un circuit aéraulique en boucle fermé. De l'air chauffé par des résistances est pulsé au sein d'un caisson. Une plaque aluminium assure la limite entre le caisson et le volume étudié. Les mesures de température de la surface sont effectuées à l'aide d'une sonde PT100. Des thermocouples gainés de type T sont également disposés sur les surfaces intérieures du volume. Ces thermocouples sont recouverts d'une pastille aluminium pour limiter les échanges radiatifs des sondes avec leur environnement. Les mesures de vitesse sont réalisées à l'aide d'une boule chaude à haute sensibilité. La sonde de vitesse utilisée est un anémomètre TSI omnidirectionnel à température constante avec compensation de la température dans un domaine allant de 0°C à 60°C. Aux températures relevées dans l'air, l'incertitude de mesure sur la vitesse est 0,05m/s pour les parties les plus chaudes et 0.025m/s pour les parties les plus froides.

Des mesures sur le plan central ont été effectuées selon un maillage fin. Tous les 10cm sur les plans horizontaux et verticaux. Pour les deux configurations géométriques, trois régimes de vent sont étudiés dans la suite respectivement pour des vitesses de vents de 0, 1 et 2 m.s<sup>-1</sup>.

## 4. RESULTATS

Les résultats présentés dans la suite sont identifiés par le régime de vent ainsi que par la configuration traitée. Les régimes sont identifiés par V0, V1 et V2 respectivement pour des vents extérieurs de 0, 1 et 2 m/s. Les configurations sont notées comme suit. A : entrée d'air au vent ; B : entrée d'air sous le vent.

### 4.1 Stratification thermique.

Les figures 3 à 5 présentent les résultats des mesures de température pour les deux configurations et les trois régimes de vent. Les résultats sont présentés sous la forme d'un écart de température avec la température extérieure.

Nous observons un changement de régime dans le volume pour des vitesses de vent différentes selon les configurations. En effet, la stratification thermique pour la configuration B est peu marquée pour des vents de 1m/s et 2m/s (les températures basses sont alors plus chaudes). En revanche, elle est très peu modifiée pour des vents de 1m/s et s'annule complètement pour des vents de 2m/s pour la configuration A. La dépression générée par le vent sur l'ouvrant sous le vent est favorable au maintien d'une stratification thermique. Une ouverture au vent conduit à contrario à une homogénéisation plus rapide de l'air intérieur pour des vents supérieurs à 2 m/s.

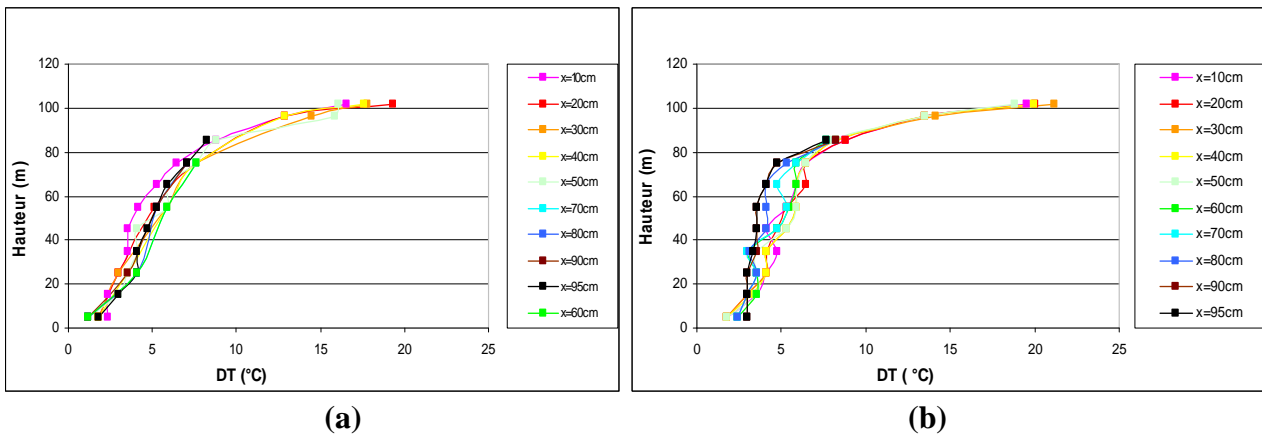


Figure 3 : Stratification thermique interne au volume pour le régime V0 pour les deux configurations A et B respectivement représentée en (a) et (b).

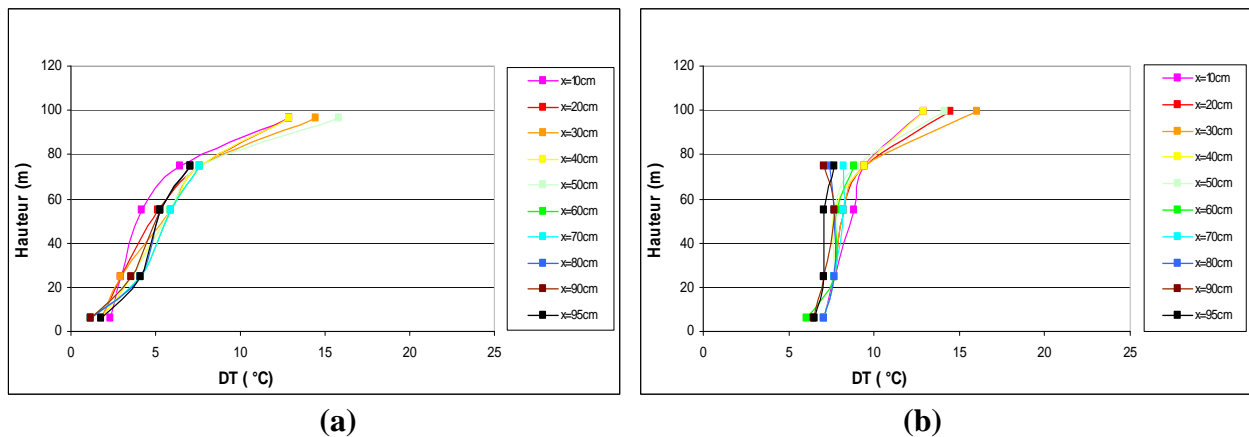


Figure 4 : Stratification thermique interne au volume pour le régime V1 pour les deux configurations A et B respectivement représentée en (a) et (b).

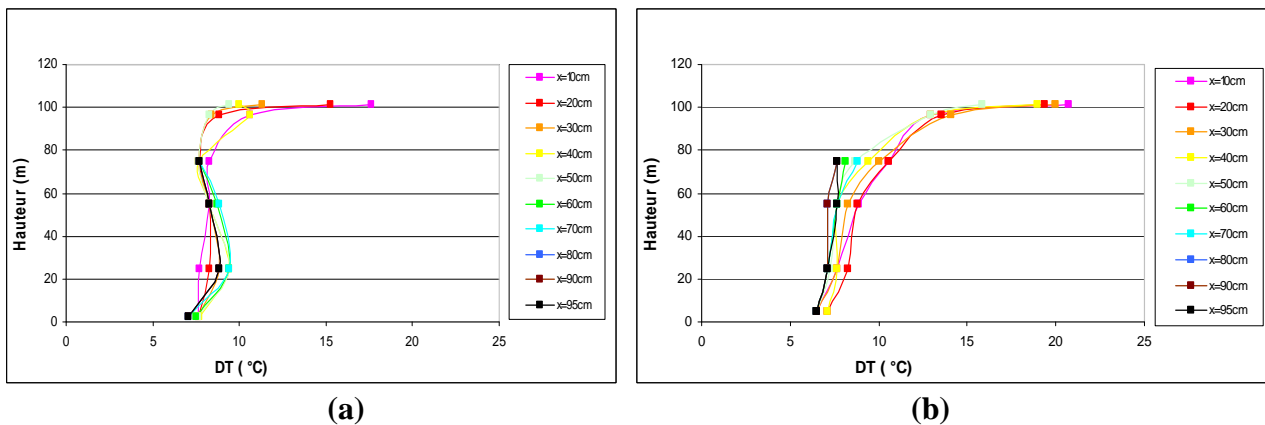


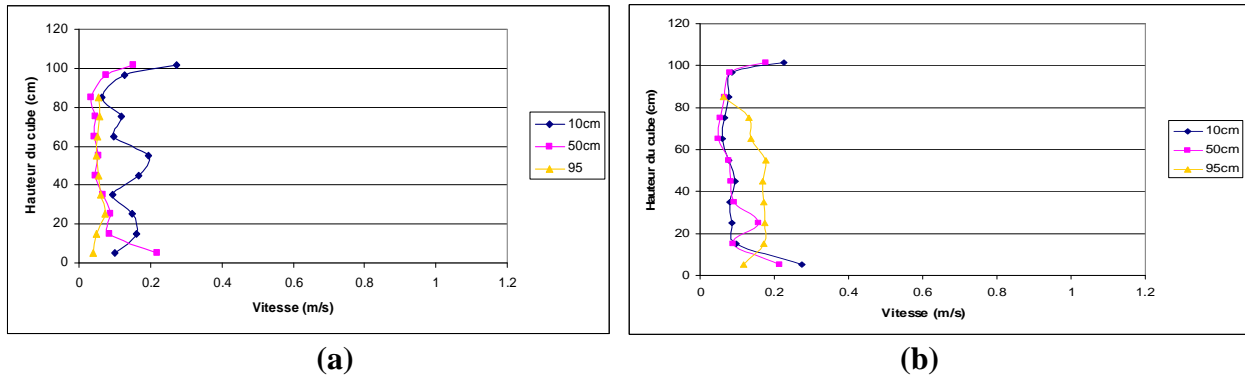
Figure 5 : Stratification thermique interne au volume pour le régime V2 pour les deux configurations A et B respectivement représentée en (a) et (b).

#### 4.2. Caractéristiques des champs de vitesse

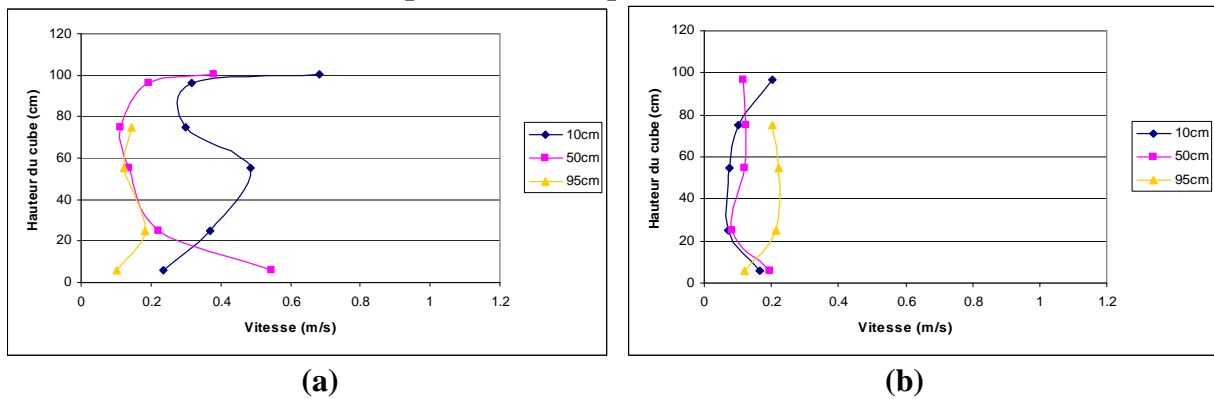
Les figures 6 à 8 présentent les résultats des mesures anémométriques pour les deux configurations et les trois régimes de vent. Afin de faciliter la lecture des figures, uniquement 3 profils sont représentés aux abscisses  $x=10\text{cm}$ ,  $x=50\text{cm}$  et  $x=90\text{cm}$  de la surface chaude.

Les résultats sur les vitesses internes montrent une très légère accentuation du mélange pour la configuration B dès  $1\text{m/s}$  de vent extérieur. Cette légère accentuation limite la stratification en bas

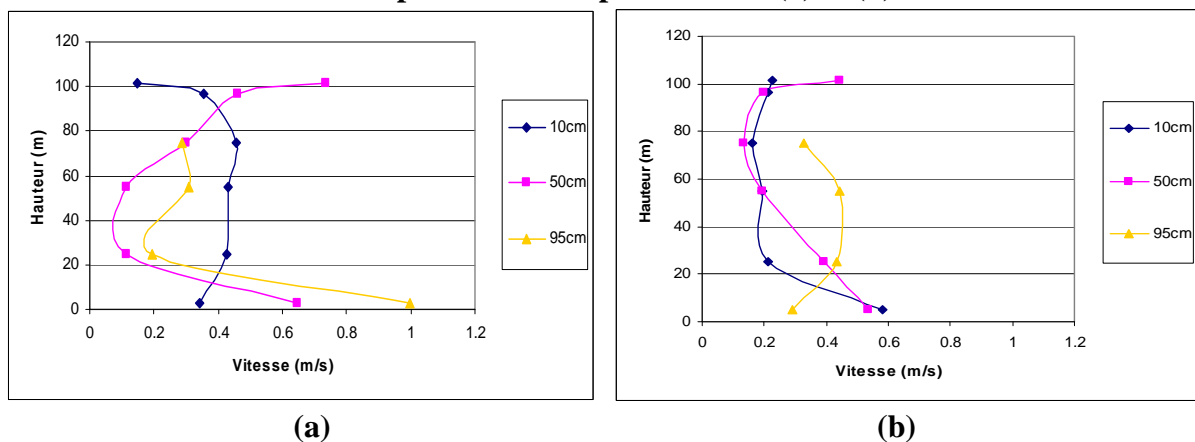
du volume mais ne modifie pas le régime d'écoulement. Une stratification thermique est maintenue pour les trois régimes de vent extérieur (ventilation par déplacement). Les dépressions générées sur les ouvrants s'opposent et ne permettent pas de mixer complètement l'intérieur du volume. Pour la configuration A, les vitesses observées sont plus fortes pour un vent extérieur de 1m/s (régime V1) mais la répartition est là encore similaire au régime V0 (écart entre les profils à 90cm de la surface chaude et à 10cm). La stratification thermique est maintenue, le régime de ventilation reste un régime par déplacement. En revanche, le régime V2 fait apparaître des vitesses d'air loin de la surface chaude plus importantes sans pour autant modifier les vitesses au voisinage de la source chaude. La ventilation devient alors une ventilation mixée, ne présentant plus de stratification thermique.



**Figure 7 : Vitesse d'air pour le régime V0 pour les deux configurations A et B respectivement représentée en (a) et (b).**



**Figure 8 : Vitesse d'air pour le régime V1 pour les deux configurations A et B respectivement représentée en (a) et (b).**



**Figure 9 : Vitesse d'air pour le régime V2 pour les deux configurations A et B respectivement représentée en (a) et (b).**

### 4.3. Analyse et discussion

Les mesures réalisées sur les deux configurations et pour les trois régimes de vent ont mis en évidence deux régimes de ventilation : le régime de ventilation mixée et le régime de ventilation par déplacement. La configuration disposant de l'entrée d'air sous le vent présente une stratification thermique pour les trois régimes de vent extérieur. Cette stratification est toutefois modifiée pour des vitesses de vent supérieures à 1 m/s. La configuration avec l'entrée d'air au vent présente une stratification thermique pour les deux régimes à vitesses de vent nulle et à 1 m/s. Le régime de vent à 2 m/s annule complètement la stratification supposant un régime complètement mixée au sein du volume. Le rapport de force entre les effets du vent et effet thermique sont inversés pour des vents entre 1 et 2m/s pour la configuration ayant l'ouverture au vent. Dans ce cas, l'approche aérodynamique pure permet de caractériser les renouvellements d'air globaux du volume.

### 5. CONCLUSION

Le rapport de force entre les effets thermique et les effets du vent extérieur sur le mouvement interne ont été étudiés pour un volume de référence de 1m<sup>3</sup>. Deux configurations ayant respectivement une ouverture au vent et sous le vent ont été considérées. Nous avons mis en évidence une modification du régime interne pour des vitesses de vent différentes selon la configuration. Néanmoins, les grandeurs mesurées, notamment sur les vitesses, présentent des incertitudes significatives. De plus, les gammes de vents simulées en soufflerie sont faibles (1 et 2m/s) imposant des conditions en pression largement fluctuantes sur les ouvrants. Des mesures de pression statique au voisinage des ouvrants ont montrées de fortes fluctuations dues à la turbulence et particulièrement influentes à ces régimes. La comparaison avec des modèles numériques a d'ores et déjà montrée l'importance de disposer de conditions limites stables dans le temps afin de comparer finement le comportement des codes numériques pour des rapports de force entre les effets thermiques et les effets du vent équilibrés. Un nouveau banc expérimental, pour lequel les conditions en pression seront assurées par des volumes intermédiaires reliés à des ventilateurs est en cours de réalisation. Ce nouveau banc permettra vraisemblablement d'obtenir des mesures expérimentales plus précises.

### REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] S.D.Fitzgerald, A.W.Woods, *Energy efficiency with natural ventilation : a case study*, Energy 160, Fev 2007, Issue EN, p9-14
- [2] Z.D.Chen, Y.Li, J.Mahoney, *Experimental modelling of buoyancy-driven flows in buldings using a fine bubble technique*, Building ad Environment, 36 (2001), 447-455
- [3] S.D.Fitzgerald, A.W.Woods, *Natural ventilation of a room with vents at multiple levels*, Building and Environment, 39, 2004, 505-521
- [4] H.B.Awbi, M.M.Nemri, *Scale effect in room Airflow studies*, Energy and Buildings, 14 (1990), p207-210
- [5] P.F.Linden, *The fluid mechanics of natural ventilation*, Annual Review, Fluid mechanics, 1999, 31, 201-38
- [6] T.Chenvidyakarn, A.Woods, *Multiple steady states in stack ventilation*, Build. & Env. 2005, 40, p399-410
- [7] J.Yuan, L.R.Glicksman, *Multiple steady states in combined buoyancy and wind driven natural ventilation : The conditions for multiple solutions and the critical point for initial conditions*, Build. & Env. 2008, 43, p62-69
- [8] Y.Li & A.Delsante, *Natural ventilation induced by combined wind and thermal forces*, Build. & Env. 2001, 36, p 59-71
- [9] J.Yuan, L.R.Glicksman, *Transition between the multiple steady states in a natural ventilation system with combined buoyancy and wind driven flows*, Build. & Env. 2007, 42, p3500-3516
- [10] D.Bolster, A.Maillard, P.Linden, *The response of natural displacement ventilation to time-varying heat sources*, Energy & Build. (2008)