

Débits de ventilation créés par un panache forcé dans une enceinte ventilée

A. Ngondiep, M. Gonzalez, M. Lebey*, P. Paranthoën

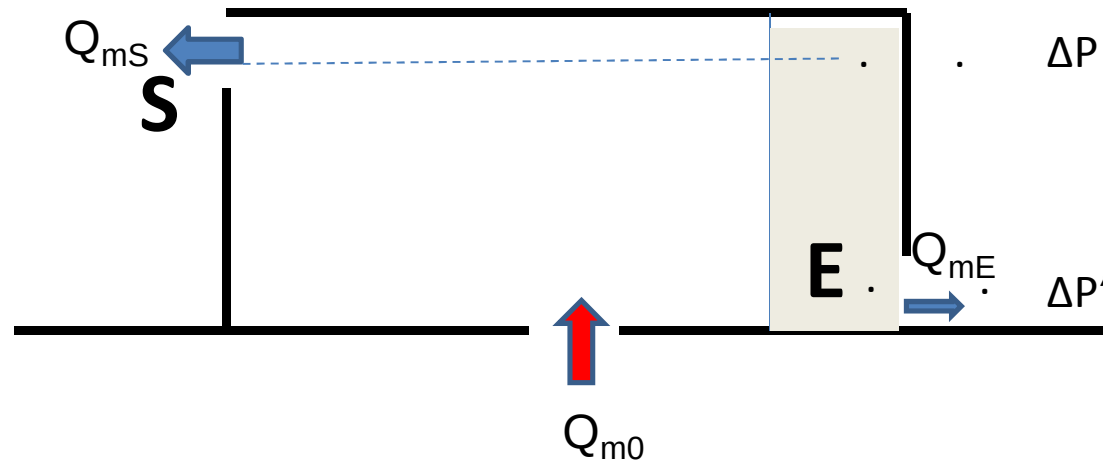
CNRS UMR 6614 - CORIA, Saint Etienne du Rouvray

*** CNRS UMR 6294 – LOMC, Le Havre**

Etude réalisée avec le soutien de la Région Haute-Normandie

I. Contexte

Enceinte alimentée à sa base par une source de gaz chaud, en communication avec l'extérieur par deux ouvertures rectangulaires S et E situées respectivement en parties haute et basse.



Situation rencontrée dans la ventilation des habitations, le refroidissement des équipements électroniques ou la dynamique des écoulements présents dans les situations d'incendie, Karlsson et Quintiere (2000).

Quand le panache injecté chauffe l'intérieur de l'enceinte, cela modifie les conditions de pression de part et d'autre des ouvertures E et S et conditionne les échanges gazeux entre l'intérieur et l'extérieur.

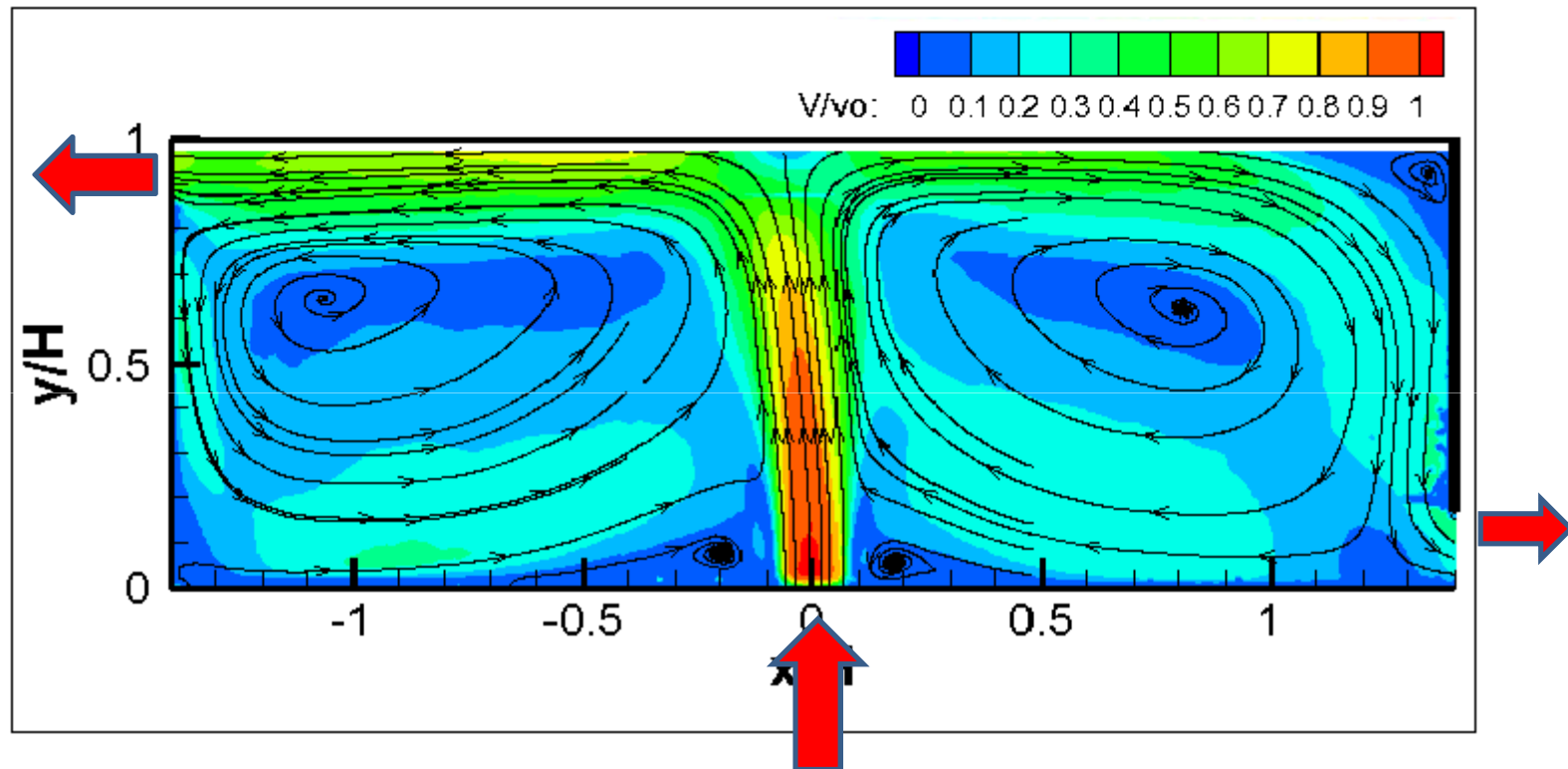
Quand une situation stationnaire est atteinte, des études antérieures ont montré que :

- trois régimes d'écoulements pouvaient apparaître: **naturel**, **bloqué** et **intermédiaire**, *Woods et al., JFM, (2003), Allano et al., SFT, (2008)*.
- chacun de ces régimes était caractérisé par des valeurs particulières d'un nombre de Froude densimétrique : Fr_H^* , *Paranthoën et Gonzalez, Int. J. Heat Fluid Flow, (2010)*.

$$\overline{Fr}_H^* = (Q_0^2 / (\overline{\Delta\rho}_H / \rho_{ext}) g H (C_S A_S)^2 (\rho_0 / \rho_{ext}) (\rho_0 / \rho_{int}(H)))$$

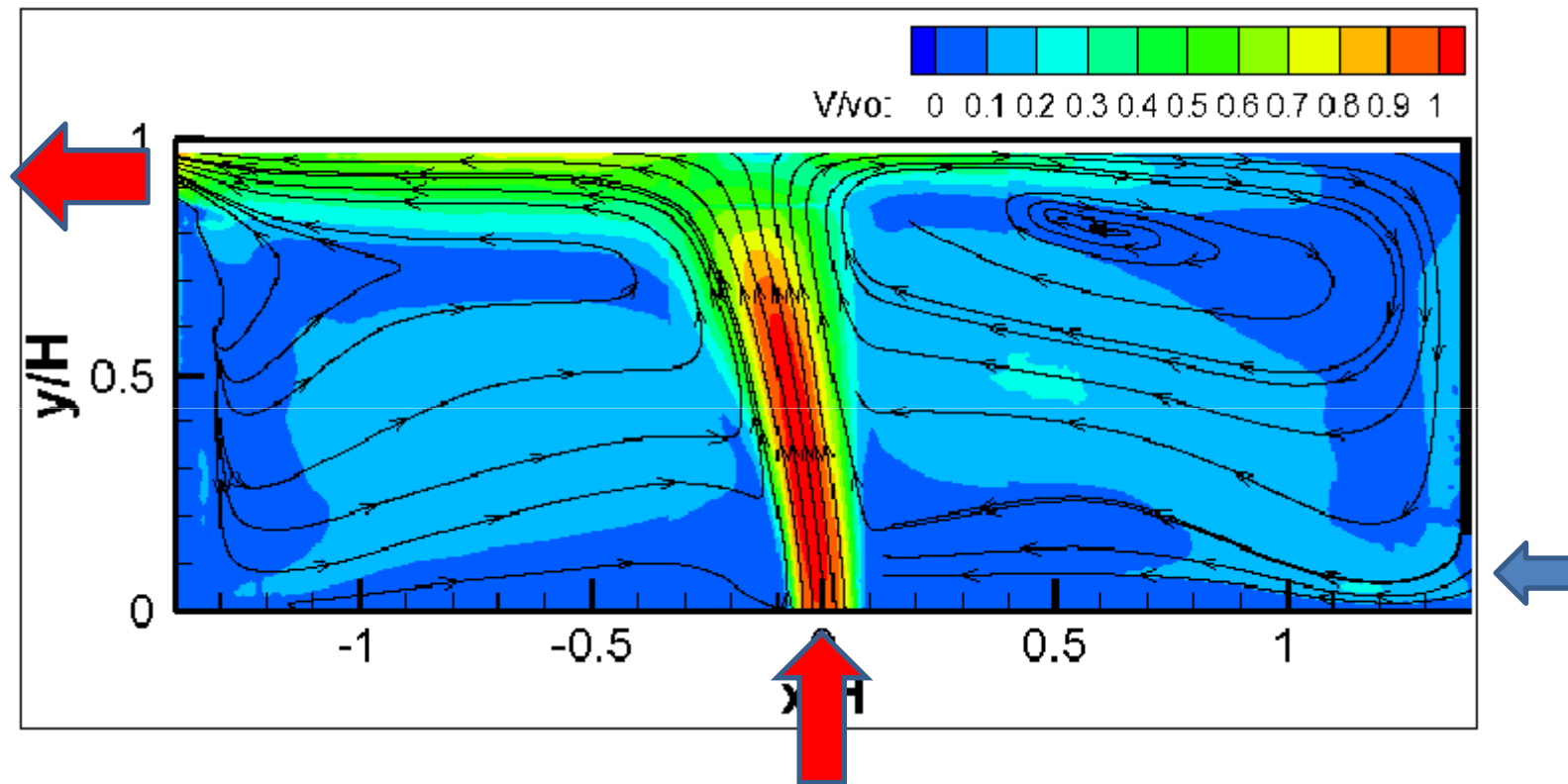
Dans cette expression, Q_0 est le débit volumique injecté, $\overline{\Delta\rho}_H$ est la différence de masse volumique moyenne sur la hauteur H entre l'intérieur et l'extérieur de l'enceinte, $C_S A_S$ la section effective de l'ouverture supérieure.

Régime bloqué, $\overline{Fr_H}^* > 2$



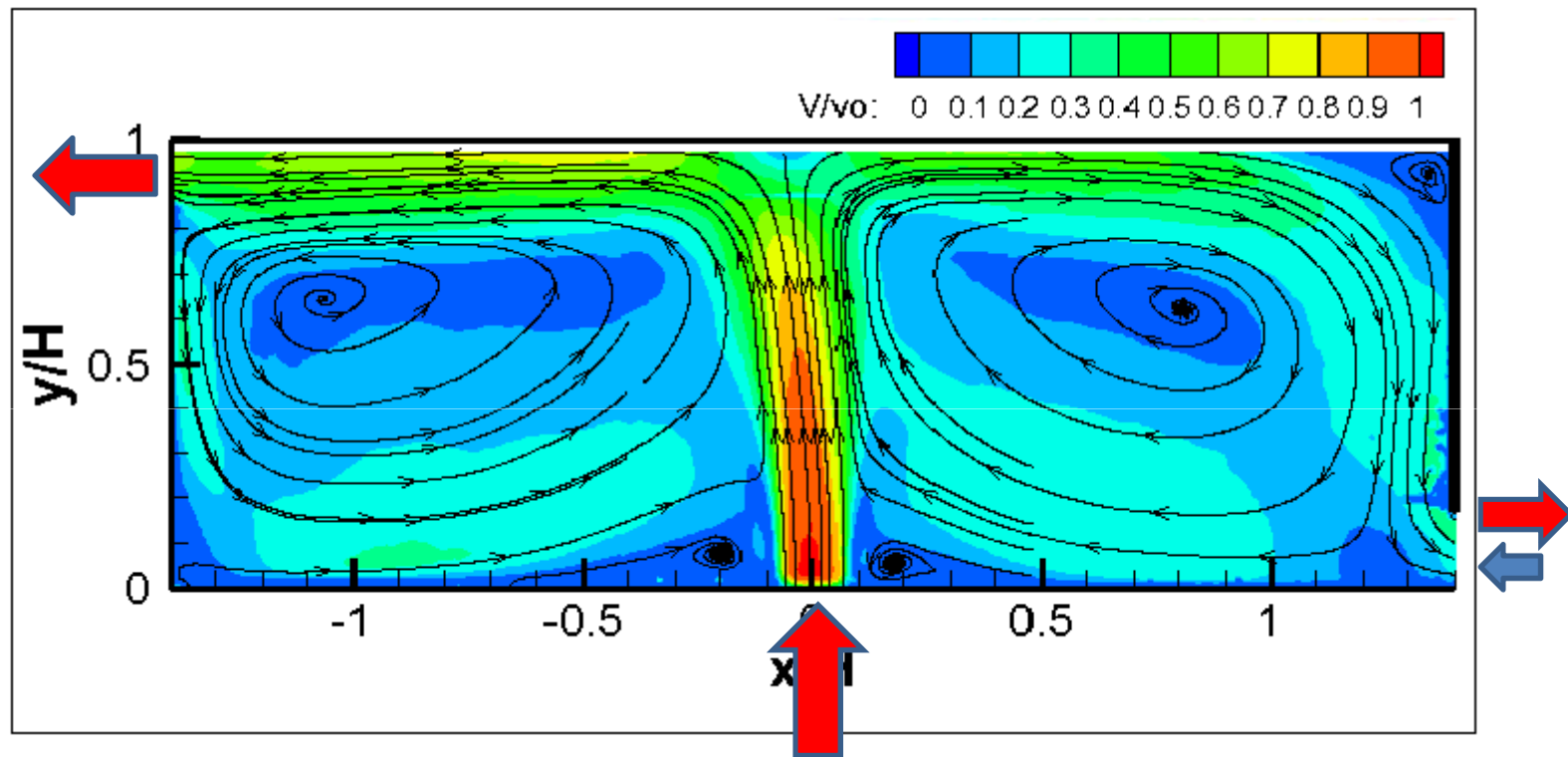
Ce régime est caractérisé par des écoulements sortants à la fois par E et S.

Régime naturel, $\overline{Fr}_H^* < 2$



Ce régime est caractérisé par un écoulement entrant par E et sortant par S.

Régime intermédiaire, $\overline{Fr_H^*} \approx 2$



Dans ce régime, l'écoulement est toujours sortant par S, mais de l'air extérieur pénètre dans l'enceinte par la partie basse de E et de l'air chaud intérieur en sort par sa partie haute.

Le modèle analytique permet de prévoir les débits massiques adimensionnels aux ouvertures $q_{mE}^* = Q_{mE}/Q_{m0}$ et $q_{mS}^* = Q_{mS}/Q_{m0}$

- Pour $\overline{Fr_H}^* < 2$

$$q_{mE}^* = \frac{-1 + \sqrt{1 - (1 + \alpha^2 \beta / \gamma)(1 - 2 / \overline{Fr_H}^*)}}{1 + \alpha^2 \beta / \gamma} \quad q_{mS}^* = \frac{\alpha^2 \beta / \gamma + \sqrt{1 + (1 + \alpha^2 \beta / \gamma)(1 - 2 / \overline{Fr_H}^*)}}{1 + \alpha^2 \beta / \gamma}$$

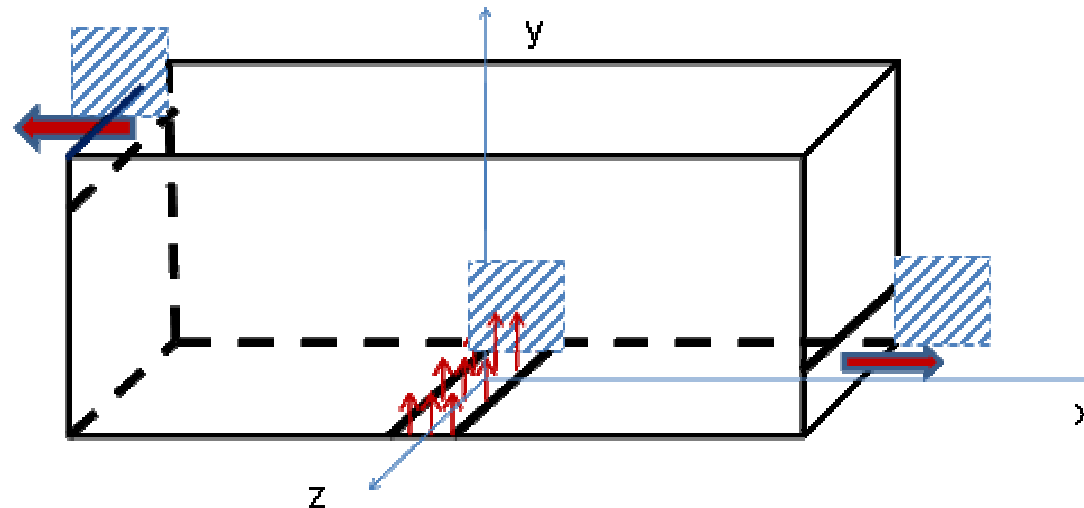
- Pour $\overline{Fr_H}^* > 2$

$$q_{mE}^* = \frac{1 + \sqrt{1 - (1 + \alpha^2 \beta / \delta)(1 - 2 / \overline{Fr_H}^*)}}{1 - \alpha^2 \beta / \delta} \quad q_{mS}^* = \frac{-\alpha^2 \beta / \delta + \sqrt{1 - (1 - \alpha^2 \beta / \delta)(1 - 2 / \overline{Fr_H}^*)}}{1 - \alpha^2 \beta / \delta}$$

Il faut noter que la détermination de ces débits et de $\overline{Fr_H}^*$ ne peut être faite qu'après l'expérience car il est nécessaire de connaître les valeurs des masses volumiques.

Dans cette communication, nous nous intéressons aux débits massiques et calorifiques sortants et entrants au niveau des ouvertures E et S pour ces trois régimes. Nous souhaitons comparer les valeurs des débits données par le modèle aux valeurs expérimentales.

II. Dispositif expérimental



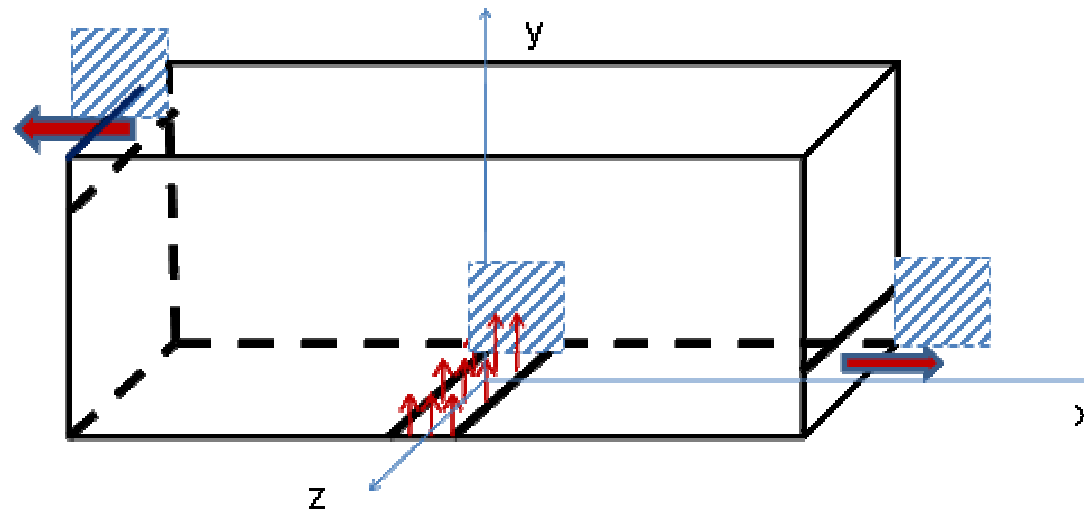
Maquette parallélépipédique en plexiglas : (500x225x180mm³).

Ouverture inférieure E (hauteur $H_E=30$ mm, largeur $l=225$ mm).

Ouverture supérieure S (hauteur $H_S=27,5$ mm, largeur $l=225$ mm).

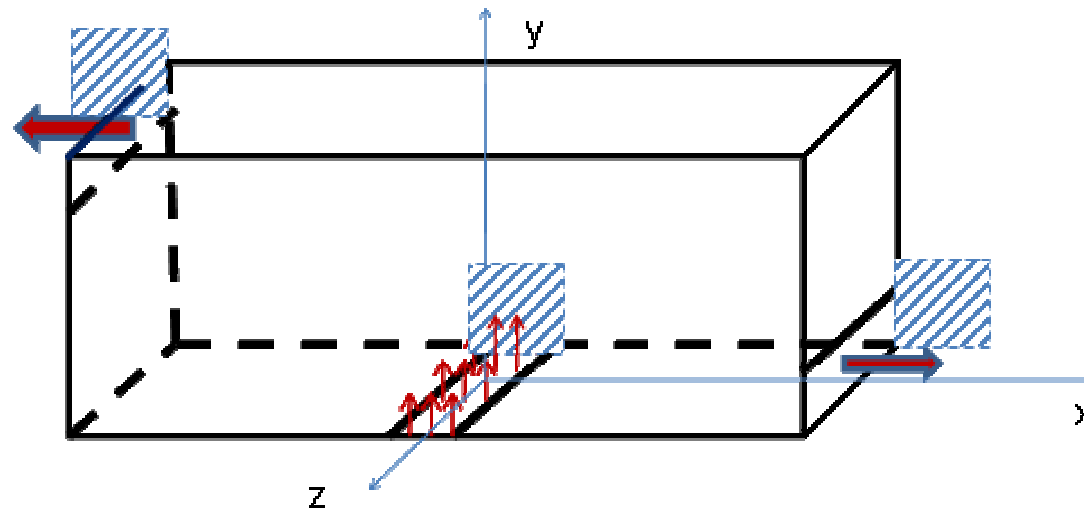
Enceinte alimentée en air chaud par une buse rectangulaire (largeur $D_0=30$ mm, longueur $l_0=225$ mm).

- Mesures PIV réalisées en ensemencant l'écoulement de panache avec de fines gouttelettes d'huile.
- Système d'éclairage composé d'un Laser Yag double pulse (8Hz) et d'un système optique permettant d'obtenir une nappe laser de moins d'1mm d'épaisseur qui éclaire à la fois l'intérieur de l'enceinte et les deux zones extérieures situées près des ouvertures inférieure et supérieure.



L'ensemble de la maquette peut se déplacer sur deux rails dans la direction z pour permettre de positionner ce plan laser vertical fixe à différentes valeurs de z ($z = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \pm 4; \pm 5$).

- Les images PIV sont enregistrées simultanément par trois caméras La Vision Imager Prox4M (2048x2048 pixels) dans les trois plans verticaux ($8 \times 8 \text{ cm}^2$) situés au niveau des ouvertures et de la buse.



Vitesses moyennes calculées à l'aide du logiciel Davis-La Vision par inter corrélation (mailles de 32×32 pixels avec recouvrement de 50% , (200 couples d'images)).

Ecarts de température moyennes mesurés au moyen de thermocouples de type T dans ces plans et sur une verticale proche de l'ouverture E au moyen d'un peigne de thermocouples.

CAS ETUDIES

- Les trois régimes d'écoulement étudiés sont induits par les panaches forcés suivants:
- régime naturel : $Q_{m0} = 100 \text{ Nl/min}$, $\Delta T_{0 \max} = 55 \text{ K}$, $\overline{Fr_{H*}} = 1,57$
- régime interméd.: $Q_{m0} = 135 \text{ Nl/min}$, $\Delta T_{0 \max} = 48 \text{ K}$, $\overline{Fr_H}^* = 2,75$
- régime bloqué: $Q_{m0} = 250 \text{ Nl/min}$, $\Delta T_{0 \max} = 32 \text{ K}$, $\overline{Fr_H}^* = 9,5$
- nombres de Reynolds initiaux compris entre 1050 et 1700.

III. Résultats expérimentaux

- Afin de calculer les débits massiques Q_{*0} , Q_{*E} et Q_{*2} et les puissances calorifiques P_0 , P_E et P_2 pour les trois régimes d'écoulements au moyen de relations du type :

$$Q_{*E} = \int_0^{H_E/2} \rho_E(r) \cdot U_E(r) \cdot \pi r dr$$

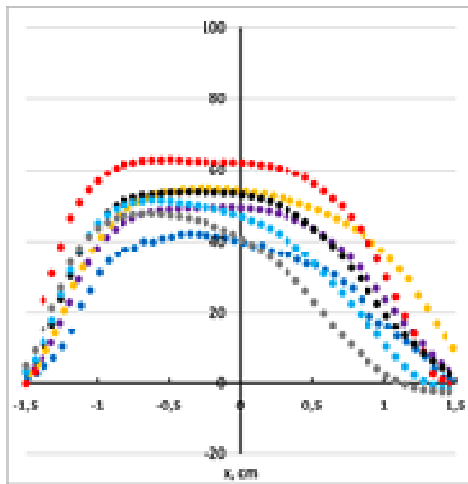
et

$$P_E = \int_0^{H_E/2} \rho_E(r) \cdot U_E(r) \cdot \pi r \Delta T_E(r) \cdot \pi r dr$$

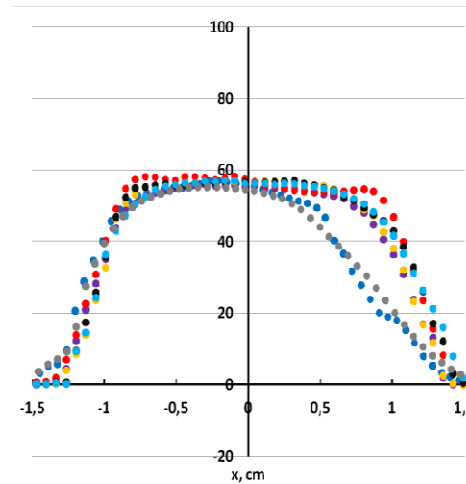
nous avons mesuré les profils des écarts de température moyenne et des vitesses moyennes de la composante normale à chaque ouverture (0, E et S) dans sept plans de mesure (effets 3D).

III.1 Profils de vitesse moyenne pour les trois régimes d'écoulements

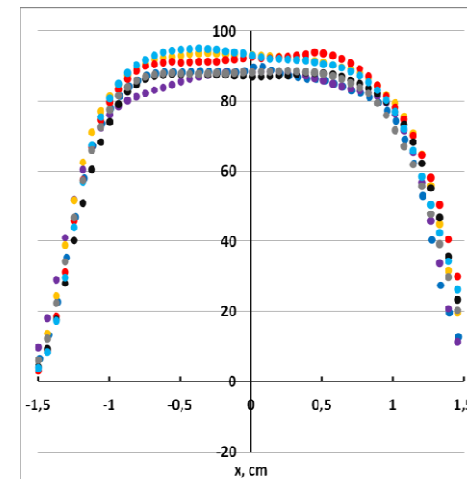
- Buse d'injection



Régime naturel

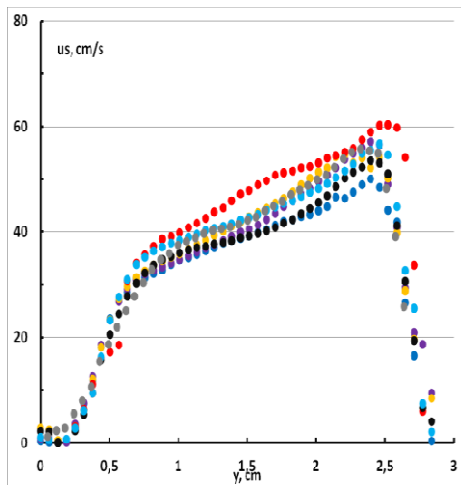


Régime intermédiaire

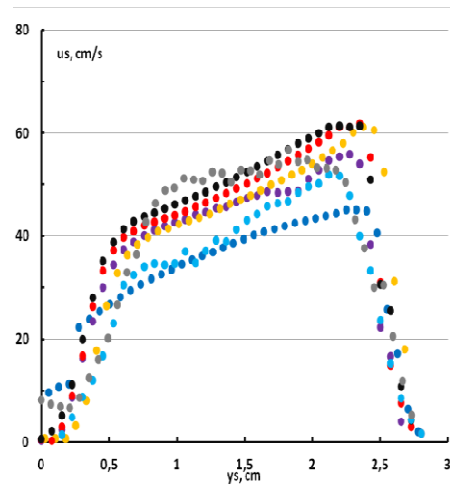


Régime bloqué

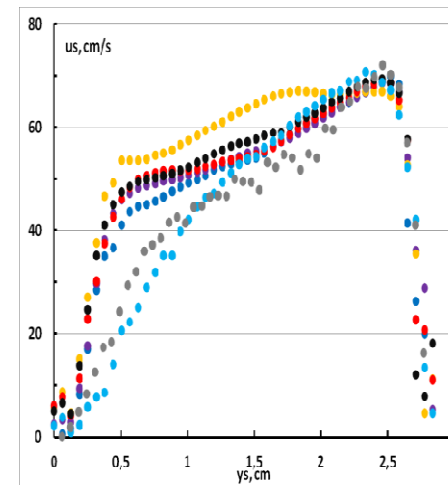
- Ouverture supérieure



Régime naturel

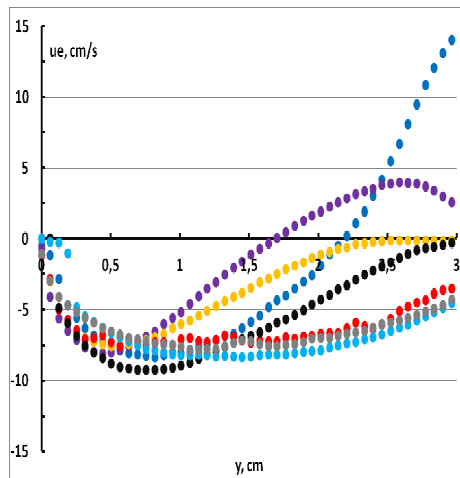


Régime intermédiaire

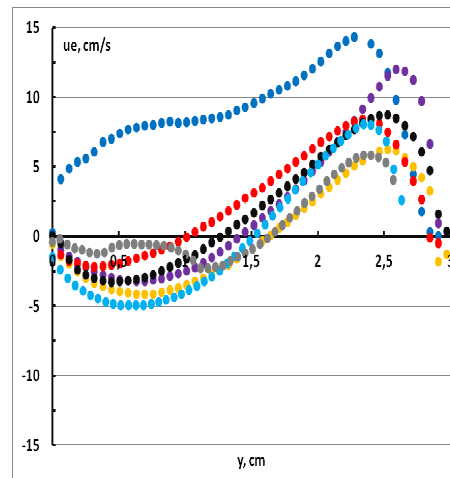


Régime bloqué

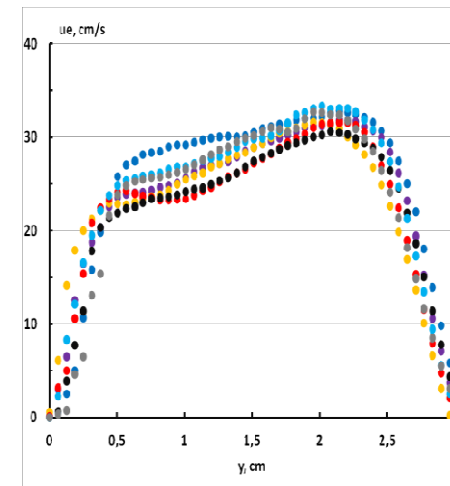
- Ouverture inférieure



Régime naturel



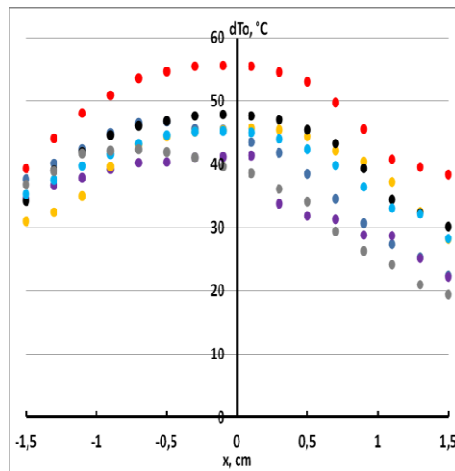
Régime intermédiaire



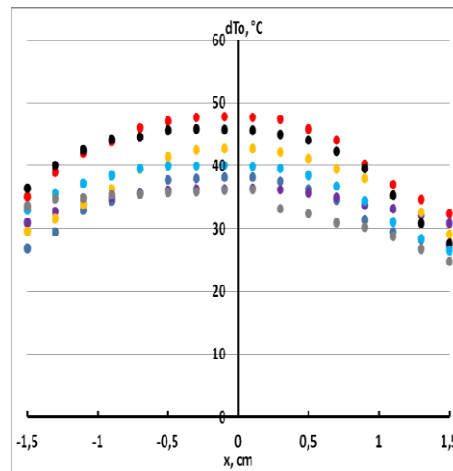
Régime bloqué

III.2 Profils de température moyenne pour les trois régimes d'écoulements

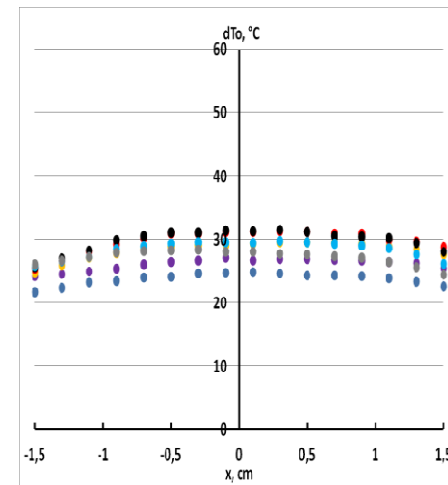
- Buse d'injection



Régime naturel

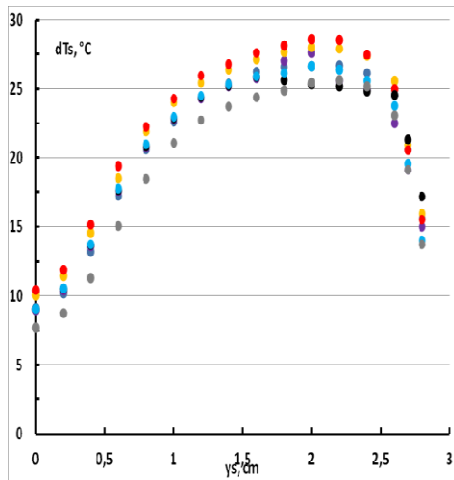


Régime intermédiaire

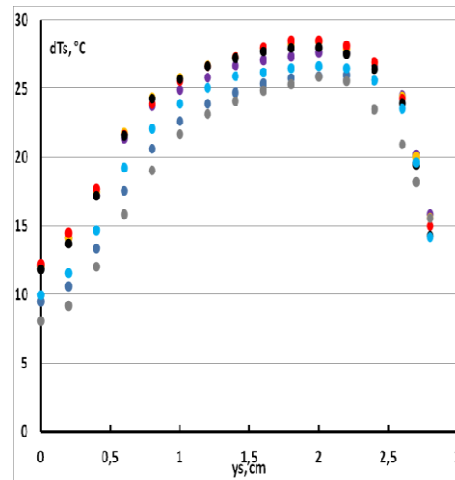


Régime bloqué

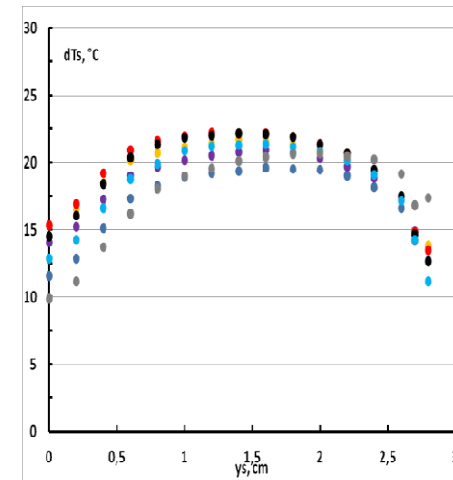
- Ouverture supérieure



Régime naturel

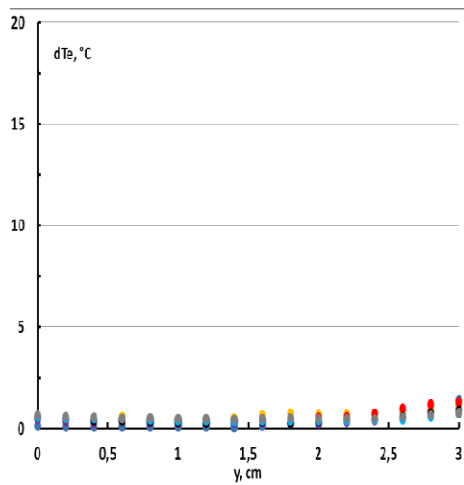


Régime intermédiaire

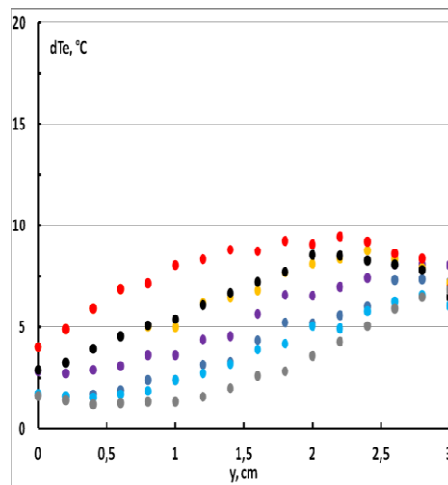


Régime bloqué

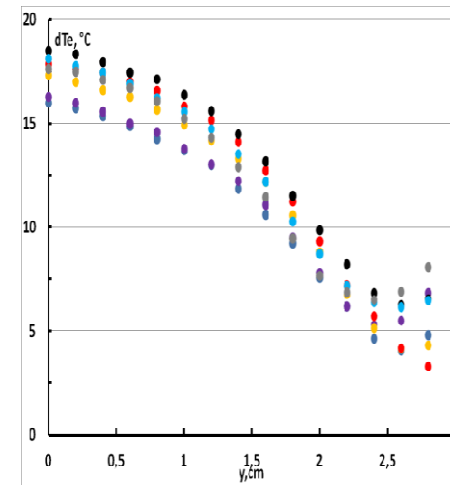
- Ouverture inférieure



Régime naturel



Régime intermédiaire



Régime bloqué

III.3 Bilans massique et calorifique

Régime d'écoulement	q_{mE}^* mesuré	q_{mS}^* mesuré	q_{mE}^* calculé	q_{mS}^* calculé	$P_{cd}^* = 1 - (P_S^* + P_E^*)$ mesuré
Naturel $Fr_H^* = 1,57$	0,15	1,06	0,13	1,13	0,33
Intermédiaire $Fr_H^* = 2,75$	0,075	0,875	0,15	0,85	0,34
Bloqué $Fr_H^* = 9,5$	0,34	0,63	0,41	0,59	0,32

- Bilan massique global vérifié.
- Accord relativement satisfaisant entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées des débits massiques aux ouvertures.
- Environ 33% de la puissance injectée perdue par conduction.

IV. Conclusion

- L'étude expérimentale des débits massiques et calorifiques au niveau des ouvertures haute et basse d'une enceinte ventilée alimentée à sa base par un panache forcé a confirmé l'existence de trois régimes d'écoulements (naturel, intermédiaire et bloqué) mis en évidence dans des expériences précédentes.
- Les résultats montrent qu'en situation stationnaire, les débits massiques présents aux deux ouvertures peuvent être correctement prédits quand le nombre de Froude densitométrique est connu.
- Dans la situation expérimentale étudiée environ un tiers de la puissance calorifique injectée est perdu par conduction.