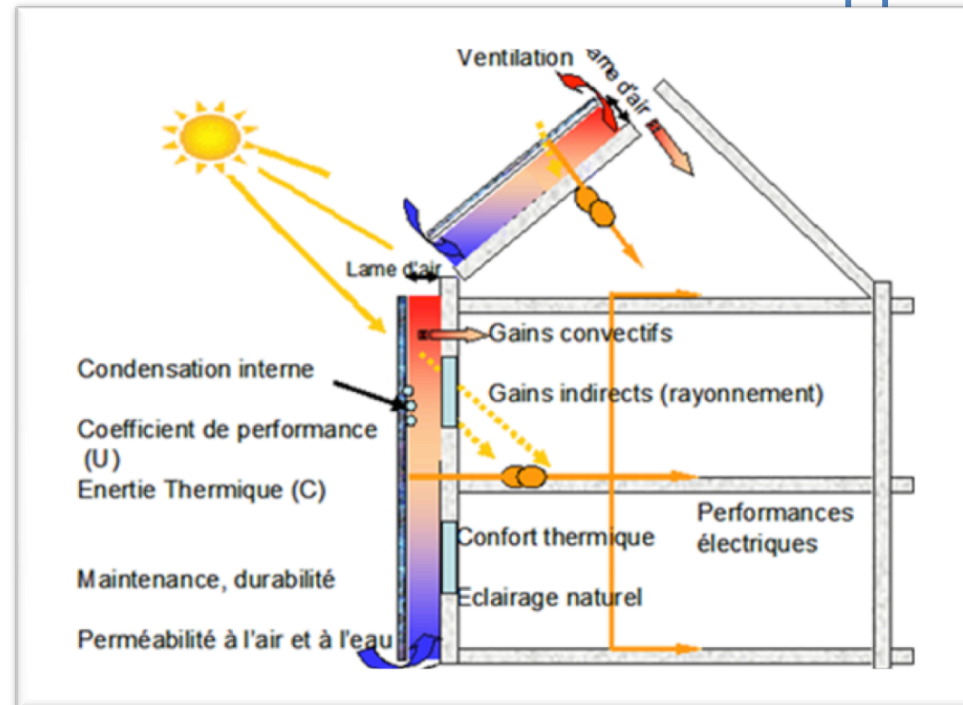


Optimisation des transferts dans les enveloppes du bâtiment



Benchmark : Simulation numérique de l'écoulement d'air dans un canal vertical partiellement chauffé

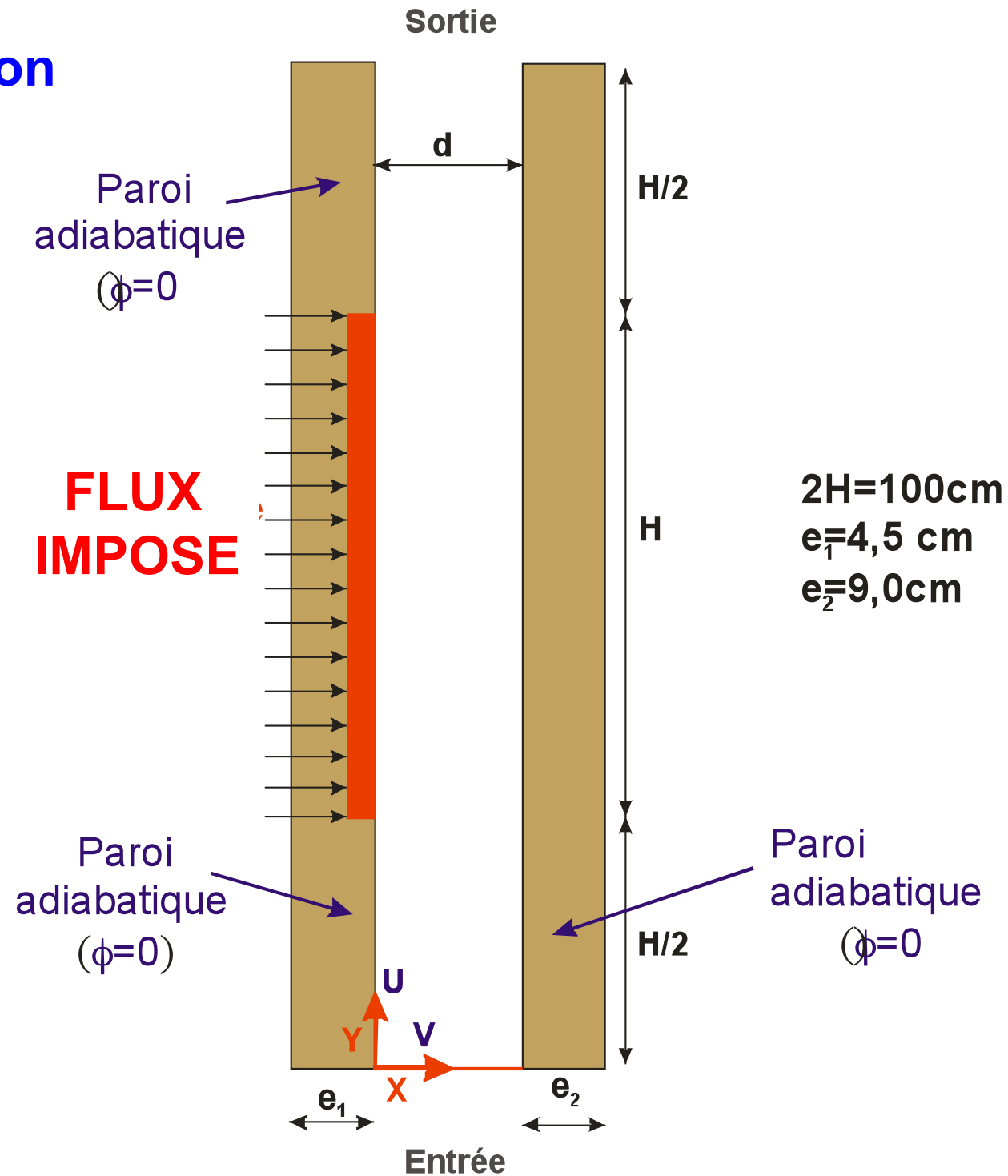
Motivations

- Obtenir solutions de références
- Analyse de l'influence du choix conditions aux limites (écoulements et transferts)

Outils

- 5 codes différents :
 - volumes finis et différences finies 2D
 - laminaire / stationnaire
- configurations de base : canal ouvert à flux imposé (Web et Hill 1989)
- 4 bancs expérimentaux pour les travaux futurs :
 - 2 en air (convection/rayonnement)
 - 2 en eau (rayonnement)

Configuration



Equations

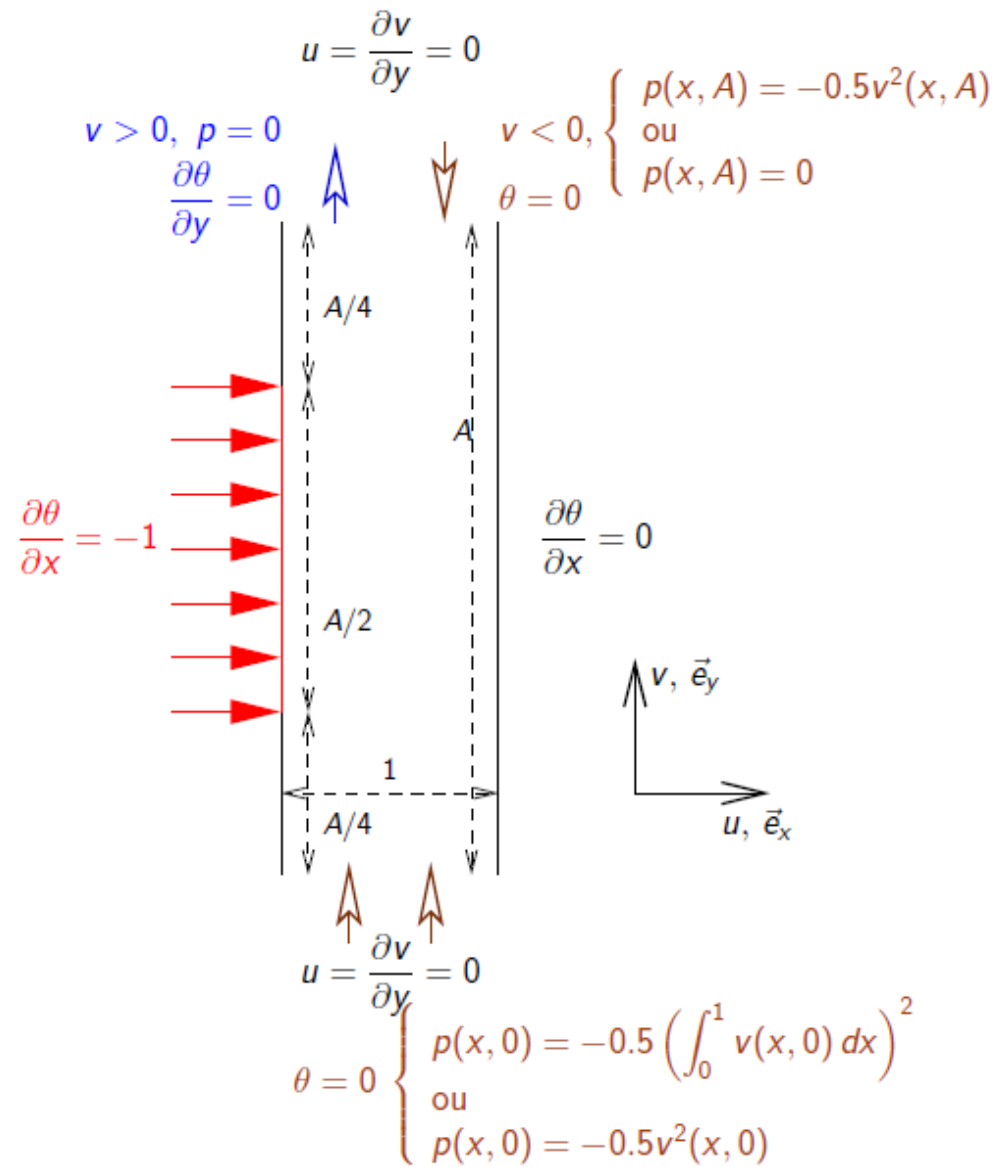
$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{u} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} \vec{u} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{u} \otimes \vec{u}) &= -\vec{\nabla} p + Pr \Delta \vec{u} + Ra Pr \theta \vec{e}_y \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{u} \theta) &= \Delta \theta\end{aligned}$$

avec

- ▶ $\vec{u} = u\vec{e}_x + v\vec{e}_y,$
- ▶ $A = \frac{H}{l} = 5$
- ▶ $Ra = \frac{g\beta\Delta T l^3}{\nu\alpha},$
- ▶ $Pr = \frac{\nu}{\alpha} = 0.71,$
- ▶ $Ra_m = 2Ra/A = 10^5.$

2D
Laminaire
Incompressible
Approximation Boussinesq
Sans rayonnement

Problème



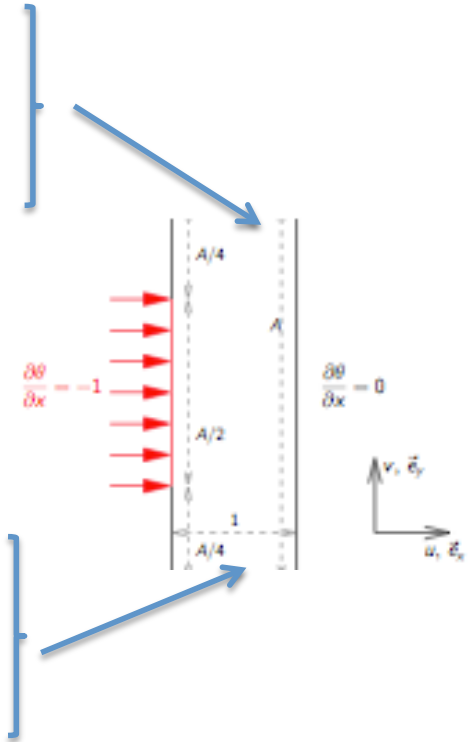
Conditions aux limites en pression

$$\forall x \in]x_0; 1[, \quad p(x, A) = -\frac{1}{2}(v(x, A))^2 \quad (3) \text{ LB GB}$$

$$\forall x \in]x_0; 1[, \quad p(x, A) = 0 \quad (4) \text{ LB-0 GB-0}$$

$$\forall x \in]0; 1[, \quad p(x, 0) = -\frac{1}{2}(v(x, 0))^2 \quad (1) \text{ LB LB-0}$$

$$\forall x \in]0; 1[, \quad p(x, 0) = -\frac{1}{2} \left(\int_0^1 v(x, 0) dx \right)^2 \quad (2) \text{ GB GB-0}$$



		Frontière inférieure	
		relation (1)	relation (2)
Frontière supérieure	relation (3)	LB	GB
	relation (4)	LB-0	GB-0

TABLE 1 – Notation pour les 4 jeux de conditions aux limites.

Variables de comparaison (locales et globales)

- Nusselt

$$Nu_{u_1}(y) = \frac{1}{\theta(0,y)}; \bar{Nu}_{u_1} = \frac{2}{A} \int_{A/4}^{3A/4} Nu_{u_1}(0,y) dy$$

$$Nu_{u_2}(y) = \frac{1}{\theta(0,y) - \theta_d(y)}; \bar{Nu}_{u_2} = \frac{2}{A} \int_{A/4}^{3A/4} Nu_{u_2}(0,y) dy$$

- Taille de la recirculation

Soient $\psi_r = \psi(1,y)$ la fonction de courant sur la paroi droite et $x_\psi(y) \neq 1$ tel que $\psi(x_\psi(y),y) = \psi_r$ alors $d_\psi(y) = 1 - x_\psi(y)$.

- Taille de l'écoulement entrant

Soit $x_v(y) \neq 0$ et $\neq 1$ tel que $v(x_v(y),y) = 0$ alors $d_v(y) = 1 - x_v(y)$.

- Température débitante

$$\theta_d(y) = \frac{1}{\bar{v}} \int_0^1 v(x,y)\theta(x,y) dx$$

- Vitesse moyenne

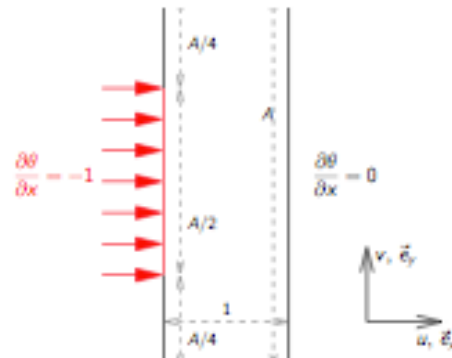
$$\bar{v} = \int_0^1 v(x,y) dx$$

- Débit entrant par le haut

$$q_{in} = - \int_{x_0}^1 v(x,A) dx$$

Codes utilisés

Authors	Type of code	Spatial Discretization	Mesh	Description
MSME	In house made	non-uniform structured grid	50×300	stationary
LGCgE	Commercial Fluent	unstructured grid	50×300	stationary
Pprime	Commercial FDS	uniform grid	?	?
PIMENT	In house made	?	256×2048	stationary
CETHIL	In house made	non-uniform structured grid	200×1200	stationary



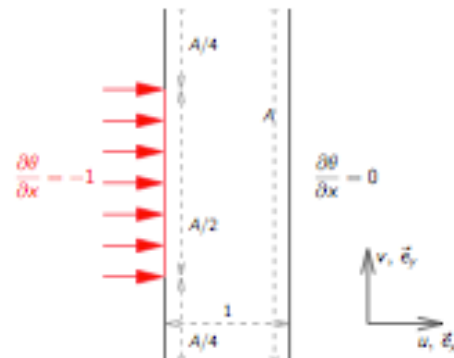
Equipe Num :

A. Bastide, B. Brangeon, E. Chenier, S. Giroux, P. Joubert, A. Joulain S. Lassue, C. Ménézo, D. Saury, S. Xin

Résultats – GB0

Nu_1	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8		Nu_2	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
MSME	7,284E+00	6,236E+00	5,691E+00		MSME	8,256E+00	7,807E+00	7,853E+00
LGCgE	7,269E+00	6,220E+00	5,674E+00		LGCgE	8,304E+00	7,900E+00	8,034E+00
PPRIME	7,491E+00	6,393E+00	5,827E+00		PPRIME	8,528E+00	8,058E+00	8,107E+00
CETHIL	7,286E+00	6,238E+00	5,693E+00		CETHIL	8,254E+00	7,802E+00	7,845E+00
PIMENT	7,269E+00	6,227E+00	5,684E+00		PIMENT	8,240E+00	7,783E+00	7,835E+00
Moyenne	7,332E+00	6,272E+00	5,721E+00		Moyenne	8,335E+00	7,892E+00	7,960E+00
Nu_1	y=3A/4	y=7A/8	y=A		Nu_2	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,67E+00	9,89E+00	1,19E+01		MSME	8,92E+00	2,72E+01	5,18E+01
LGCgE	5,65E+00	9,84E+00	1,19E+01		LGCgE	9,15E+00	2,97E+01	6,14E+01
PPRIME	5,80E+00	1,01E+01	1,22E+01		PPRIME	9,22E+00	2,75E+01	5,08E+01
CETHIL	5,66E+00	9,89E+00	1,20E+01		CETHIL	8,89E+00	2,71E+01	5,13E+01
PIMENT	5,50E+00	9,88E+00	1,19E+01		PIMENT	8,49E+00	2,73E+01	5,12E+01
Moyenne	5,694E+00	9,921E+00	1,198E+01		Moyenne	9,046E+00	2,789E+01	5,380E+01

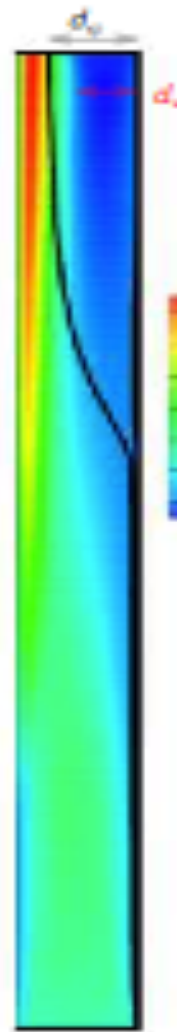
$$\forall x \in]x_0; 1[, \quad p(x, A) = 0$$



$$\forall x \in]0; 1[, \quad p(x, 0) = -\frac{1}{2} \left(\int_0^1 v(x, 0) dx \right)^2$$

Résultats – GB0

Dv	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	3,713E-01	4,641E-01	5,020E-01
LGCgE	4,140E-01	4,860E-01	5,220E-01
PPRIME	3,530E-01	4,530E-01	5,050E-01
CETHIL	3,700E-01	4,630E-01	5,030E-01
PIMENT	3,709E-01	4,637E-01	4,987E-01
Moyenne	3,771E-01	4,665E-01	5,080E-01



D_psi	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,392E-01	6,652E-01	7,068E-01
LGCgE	5,950E-01	6,940E-01	7,200E-01
PPRIME	5,190E-01	6,500E-01	7,000E-01
CETHIL	5,380E-01	6,610E-01	7,000E-01
PIMENT	4,920E-01	6,670E-01	7,080E-01
Moyenne	5,478E-01	6,675E-01	7,067E-01

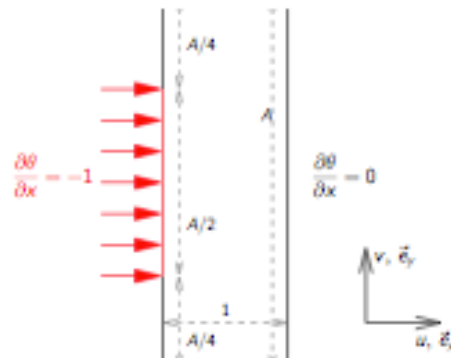
Débit	
MSME	7,760E+01
LGCgE	7,346E+01
PPRIME	7,896E+01
CETHIL	7,780E+01
PIMENT	7,743E+01
Moyenne	7,705E+01
Débit entrant	
MSME	1,752E+01
LGCgE	1,860E+01
PPRIME	-
CETHIL	1,761E+01
PIMENT	1,770E+01
Moyenne	1,786E+01

T_debitante	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
MSME	1,463E-02	2,919E-02	4,375E-02
LGCgE	1,712E-02	3,405E-02	5,084E-02
PPRIME	1,623E-02	3,233E-02	4,826E-02
CETHIL	1,610E-02	3,213E-02	4,818E-02
PIMENT	1,610E-02	3,210E-02	4,830E-02
Moyenne	1,602E-02	3,192E-02	4,776E-02
T_debitante	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,820E-02	5,828E-02	5,823E-02
LGCgE	6,790E-02	6,802E-02	6,800E-02
PPRIME	6,379E-02	6,300E-02	6,252E-02
CETHIL	6,407E-02	6,420E-02	6,417E-02
PIMENT	6,400E-02	6,460E-02	6,423E-02
Moyenne	6,349E-02	6,337E-02	6,323E-02

Résultats - GB

Nu_1	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8		Nu_2	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
MSME	7,325E+00	6,265E+00	5,716E+00		MSME	8,204E+00	7,667E+00	7,623E+00
CETHIL	7,324E+00	6,264E+00	5,716E+00		CETHIL	8,207E+00	7,674E+00	7,635E+00
Moyenne	7,324E+00	6,265E+00	5,716E+00		Moyenne	8,205E+00	7,671E+00	7,629E+00
Nu_1	y=3A/4	y=7A/8	y=A		Nu_2	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,694E+00	9,967E+00	1,206E+01		MSME	8,519E+00	2,378E+01	4,050E+01
CETHIL	5,689E+00	9,962E+00	1,205E+01		CETHIL	8,528E+00	2,394E+01	4,099E+01
Moyenne	5,691E+00	9,965E+00	1,206E+01		Moyenne	8,524E+00	2,386E+01	4,074E+01

$$\forall x \in]x_0; 1[, \quad p(x, A) = -\frac{1}{2}(v(x, A))^2$$

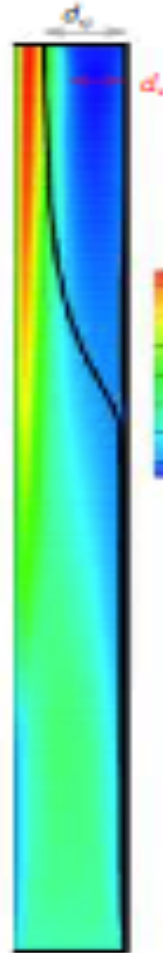


$$\forall x \in]0; 1[, \quad p(x, 0) = -\frac{1}{2} \left(\int_0^1 v(x, 0) dx \right)^2$$

Résultats - GB

Dv	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	2,591E-01	4,106E-01	4,758E-01
CETHIL	2,680E-01	4,140E-01	4,780E-01
Moyenne	2,635E-01	4,123E-01	4,769E-01

Débit	
MSME	8,577E+01
CETHIL	8,521E+01
Moyenne	
Débit entrant	
MSME	1,197E+01
CETHIL	1,245E+01
Moyenne	

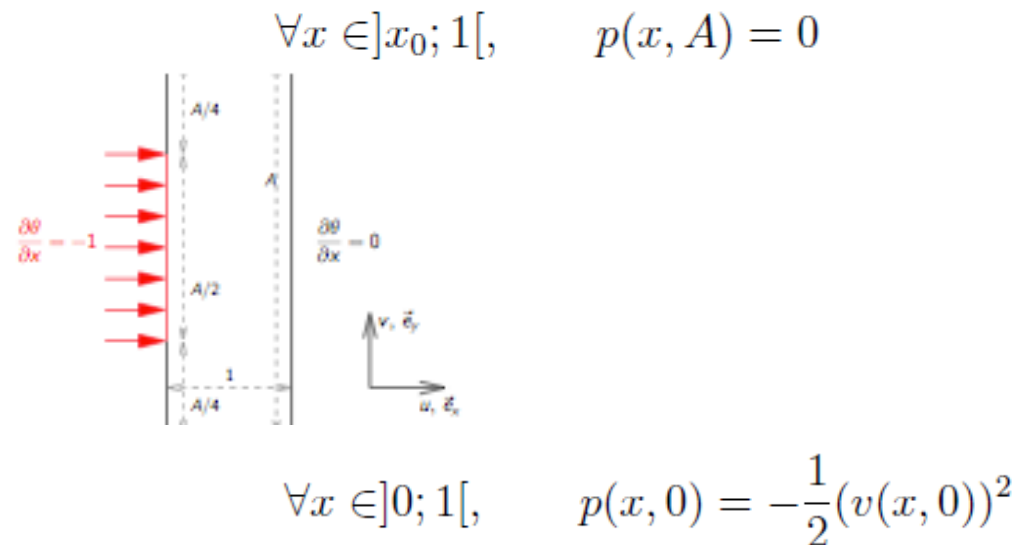


D_psi	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	3,811E-01	5,955E-01	6,608E-01
CETHIL	3,880E-01	5,950E-01	6,550E-01
Moyenne	3,846E-01	5,953E-01	6,579E-01

T_debitante	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
MSME	1,463E-02	2,919E-02	4,375E-02
CETHIL	1,470E-02	2,933E-02	4,399E-02
Moyenne	1,466E-02	2,926E-02	4,387E-02
T_debitante	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,820E-02	5,828E-02	5,823E-02
CETHIL	5,851E-02	5,862E-02	5,859E-02
Moyenne	5,836E-02	5,845E-02	5,841E-02

Résultats – LB0

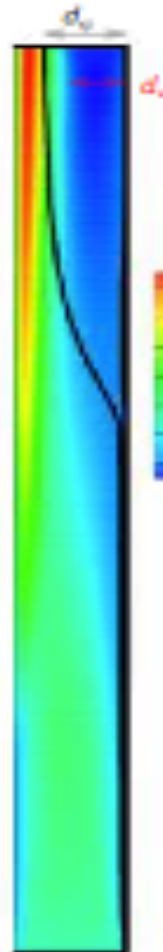
Nu_1	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8		Nu_2	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
MSME	7,191E+00	6,166E+00	5,624E+00		MSME	8,469E+00	8,311E+00	8,690E+00
CETHIL	7,198E+00	6,172E+00	5,630E+00		CETHIL	8,449E+00	8,265E+00	8,612E+00
Moyenne	7,195E+00	6,169E+00	5,627E+00		Moyenne	8,459E+00	8,288E+00	8,651E+00
Nu_1	y=3A/4	y=7A/8	y=A		Nu_2	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,600E+00	9,692E+00	1,168E+01		MSME	1,052E+01	5,098E+01	4,745E+02
CETHIL	5,602E+00	9,707E+00	1,170E+01		CETHIL	1,034E+01	4,752E+01	2,830E+02
Moyenne	5,601E+00	9,700E+00	1,169E+01	Moyenne	1,043E+01	4,925E+01	3,788E+02	



Résultats – LB0

Dv	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,157E-01	5,424E-01	5,552E-01
CETHIL	5,080E-01	5,380E-01	5,530E-01
Moyenne	5,119E-01	5,402E-01	5,541E-01

Débit	
MSME	5,982E+01
CETHIL	6,090E+01
Moyenne	6,036E+01
Débit entrant	
MSME	2,887E+01
CETHIL	2,822E+01
Moyenne	2,854E+01



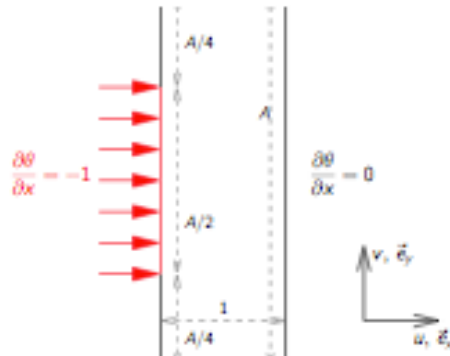
D_psi	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	7,257E-01	7,646E-01	7,784E-01
CETHIL	7,120E-01	7,530E-01	7,680E-01
Moyenne	7,189E-01	7,588E-01	7,732E-01

T_debitante	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
MSME	2,098E-02	4,186E-02	6,274E-02
CETHIL	2,056E-02	4,104E-02	6,151E-02
Moyenne	2,077E-02	4,145E-02	6,213E-02
T_debitante	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	8,342E-02	8,356E-02	8,348E-02
CETHIL	8,180E-02	8,198E-02	8,192E-02
Moyenne	8,261E-02	8,277E-02	8,270E-02

Résultats – LB

Nu_1	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8		Nu_2	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
Nu_1	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8		Nu_2	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
MSME	7,265E+00	6,217E+00	5,674E+00		MSME	8,293E+00	7,887E+00	7,990E+00
CETHIL	7,266E+00	6,218E+00	5,675E+00		CETHIL	8,293E+00	7,887E+00	7,989E+00
Moyenne	7,265E+00	6,217E+00	5,674E+00		Moyenne	8,293E+00	7,887E+00	7,989E+00
Nu_1	y=3A/4	y=7A/8	y=A		Nu_2	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,648E+00	9,837E+00	1,187E+01		MSME	9,166E+00	2,971E+01	6,133E+01
CETHIL	5,645E+00	9,836E+00	1,187E+01		CETHIL	9,150E+00	2,971E+01	6,136E+01
Moyenne	5,646E+00	9,836E+00	1,187E+01		Moyenne	9,158E+00	2,971E+01	6,135E+01

$$\forall x \in]x_0; 1[, \quad p(x, A) = -\frac{1}{2}(v(x, A))^2$$



$$\forall x \in]0; 1[, \quad p(x, 0) = -\frac{1}{2}(v(x, 0))^2$$

Résultats – LB

DV	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	4,138E-01	4,864E-01	5,231E-01
CETHIL	4,140E-01	4,860E-01	5,230E-01
Moyenne	4,139E-01	4,862E-01	5,230E-01

D_psi	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	5,960E-01	6,922E-01	7,208E-01
CETHIL	5,900E-01	6,870E-01	7,160E-01
Moyenne	5,930E-01	6,896E-01	7,184E-01

Débit	
MSME	7,350E+01
CETHIL	7,343E+01
Moyenne	7,347E+01
Débit entrant	
MSME	1,859E+01
CETHIL	1,861E+01
Moyenne	1,860E+01

T_debitante	y=3A/8	y=A/2	y=5A/8
MSME	1,707E-02	3,406E-02	5,108E-02
CETHIL	1,705E-02	3,403E-02	5,105E-02
Moyenne	1,706E-02	3,405E-02	5,106E-02
T_debitante	y=3A/4	y=7A/8	y=A
MSME	6,790E-02	6,801E-02	6,792E-02
CETHIL	6,787E-02	6,801E-02	6,794E-02
Moyenne	6,788E-02	6,801E-02	6,793E-02

- Bonne concordance sur la thermique de paroi
- Ecart les plus importants sur profils de vitesse et débit massique (jusqu'à 24%)
- Objectif visé à l'origine (2004) atteint
- Nécessité d'aller plus loin : confrontation expérimental/numérique



BANC EXPERIMENTAL EN EAU : CONVECTION PURE

S. Fohanno, C. Hemmer, C. Popa, G. Polidori

*Groupe de Recherche En Sciences Pour l'Ingénieur (GRESPI
– EA 4301)*

Equipe Thermomécanique

Université de Reims Champagne-Ardenne

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

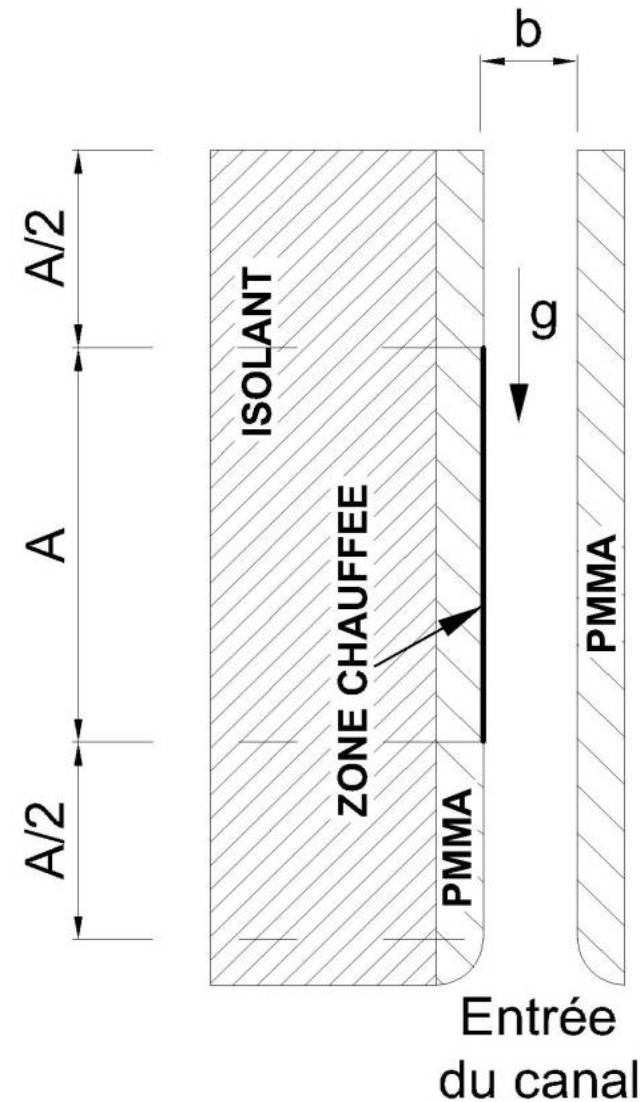
Géométrie du canal

Canal plan vertical :

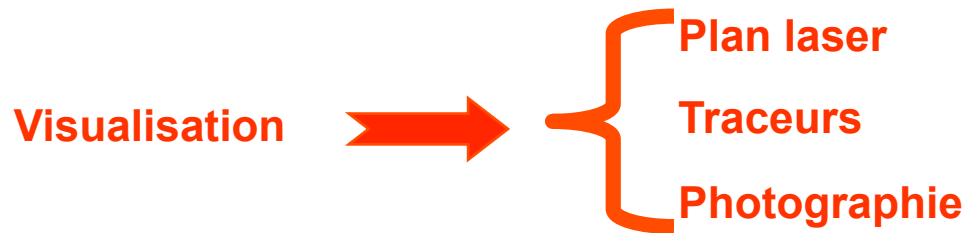
- 1 paroi adiabatique
- 1 paroi chauffée sur moitié centrale
+ isolation face arrière

Source de chaleur :

- Tissu chauffant + Plaque métallique (Aluminium)
- => Flux de chaleur uniforme et ajustable



TECHNIQUES DE VISUALISATION



Traceurs discrets : Particules de Rilsan

$$(d_{\text{moyen}} = 100\mu\text{m}, \rho_p = 1,06 \text{ g/cm}^3)$$

Temps de pose : 20 secondes

CONDITIONS EXPERIMENTALES

Rayleigh modifié :

$$Ra^* = \frac{g\beta\varphi_p^4 b}{k\mathcal{A}^2} Pr$$

$$2 \times 10^6 < Ra^* < 3 \times 10^7$$

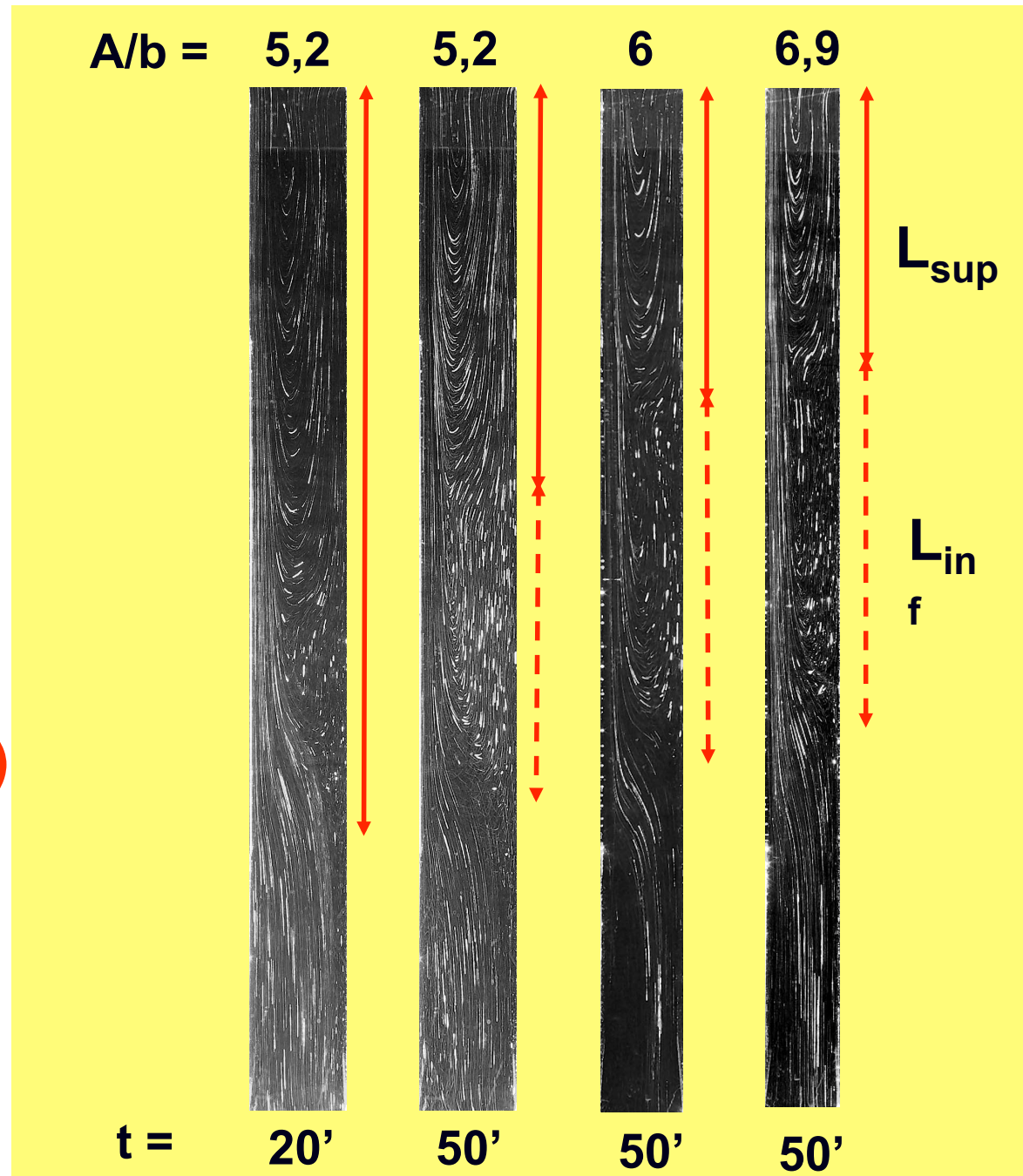
Rapports d'allongement : $A/b = 6$ avec $A = 188\text{mm}$

Inclinaisons : $-10^\circ, 0^\circ$ et $+10^\circ$

Rappels de RESULTATS

Régimes:

- transitoire (t = 20')
- stationnaire (t = 50')

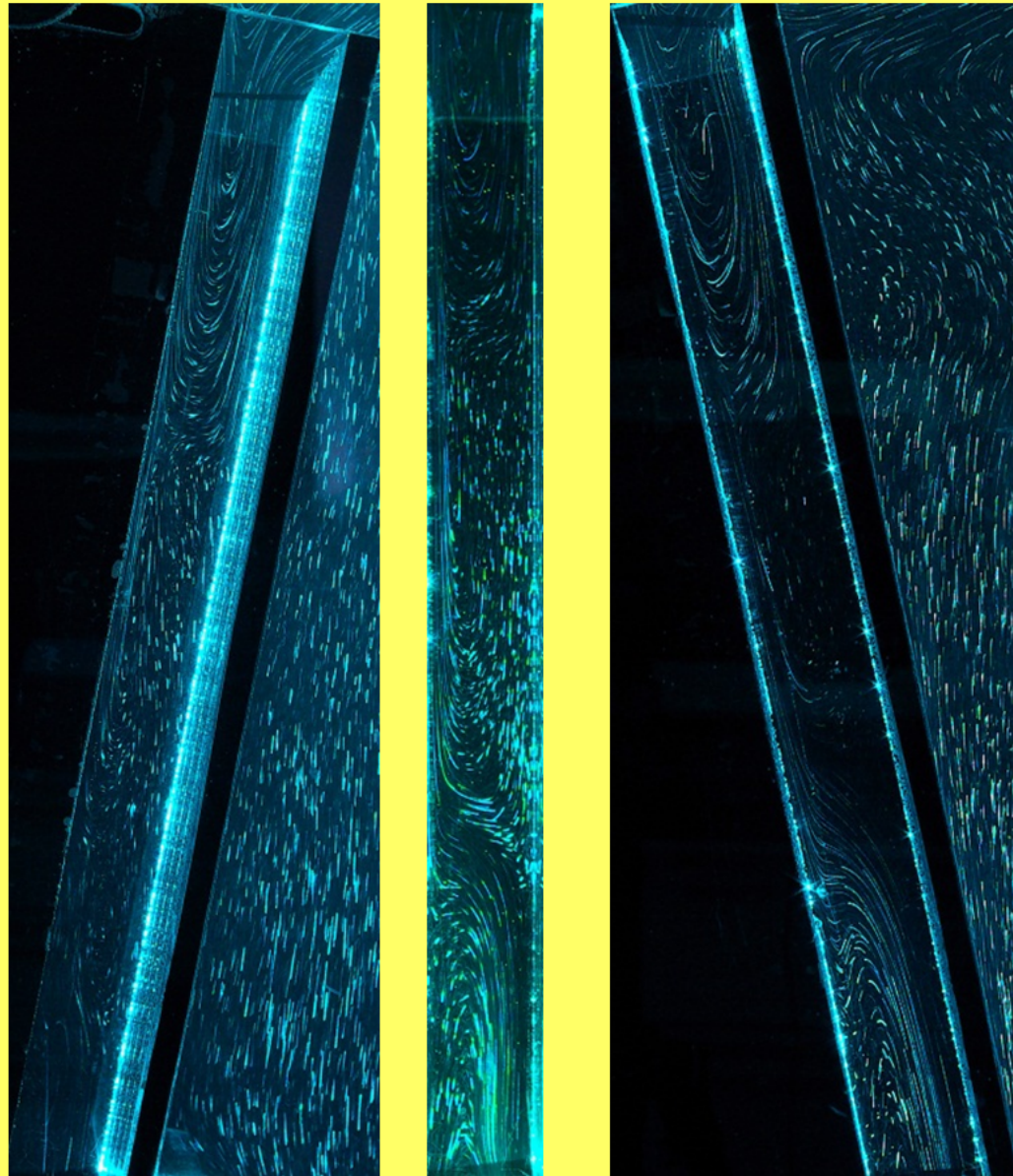


RESULTATS

Visualisations par
traceurs discrets
pour les 3
inclinaisons étudiées

Régime permanent

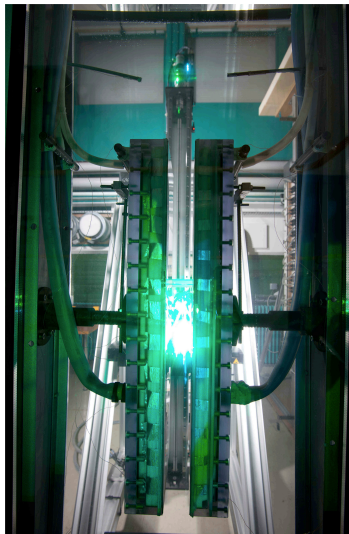
$A/b = 6$



**Centre de Thermique de Lyon (CETHIL UMR5008)
CNRS/INSA de Lyon/Université Lyon 1**

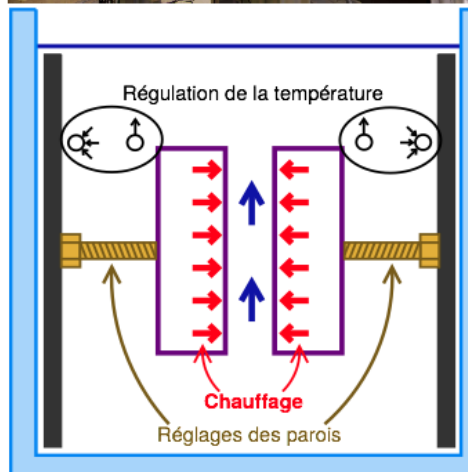
Stéphanie Giroux, Hervé Pabiou, Christophe Ménézo, Shihe Xin

BANC EXPERIMENTAL EN EAU : CONVECTION PURE



BANC EXPERIMENTAL EN EAU : CONVECTION PURE

DISPOSITIF EXPERIMENTAL



Canal vertical en eau

- Cellule de 1,5 m × 60 cm × 23 cm
- Canal de 60 cm de haut
- Écartement des parois réglables (de 0 à 14 cm)

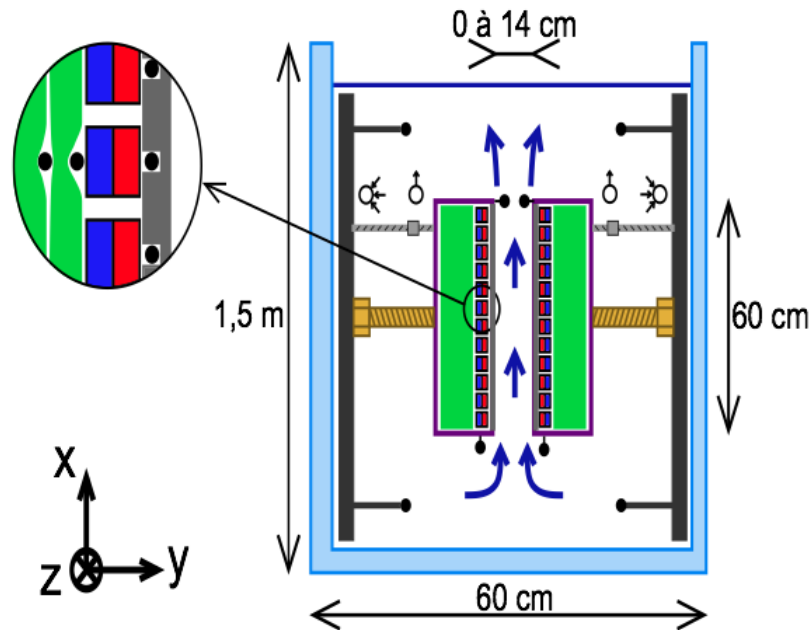
Deux parois chauffantes

- 12 chaufferettes indépendantes par paroi
- Flux imposé en moyenne sur chaque chaufferette
- Température régulée à l'extérieur du canal

Originalité de l'étude

- Rayonnement négligeable
- Convection / Conduction

METROLOGIE



Cellule en double-vitrage	Mousse isolante
Support PVC	Réglage des parois
Système vis-écrou	• Thermocouple
Bloc étanche	♂ Aspiration
Paroi en inox (ep. 1,5 mm)	♂ Refoulement
Fluxmètre/Chaufferette	

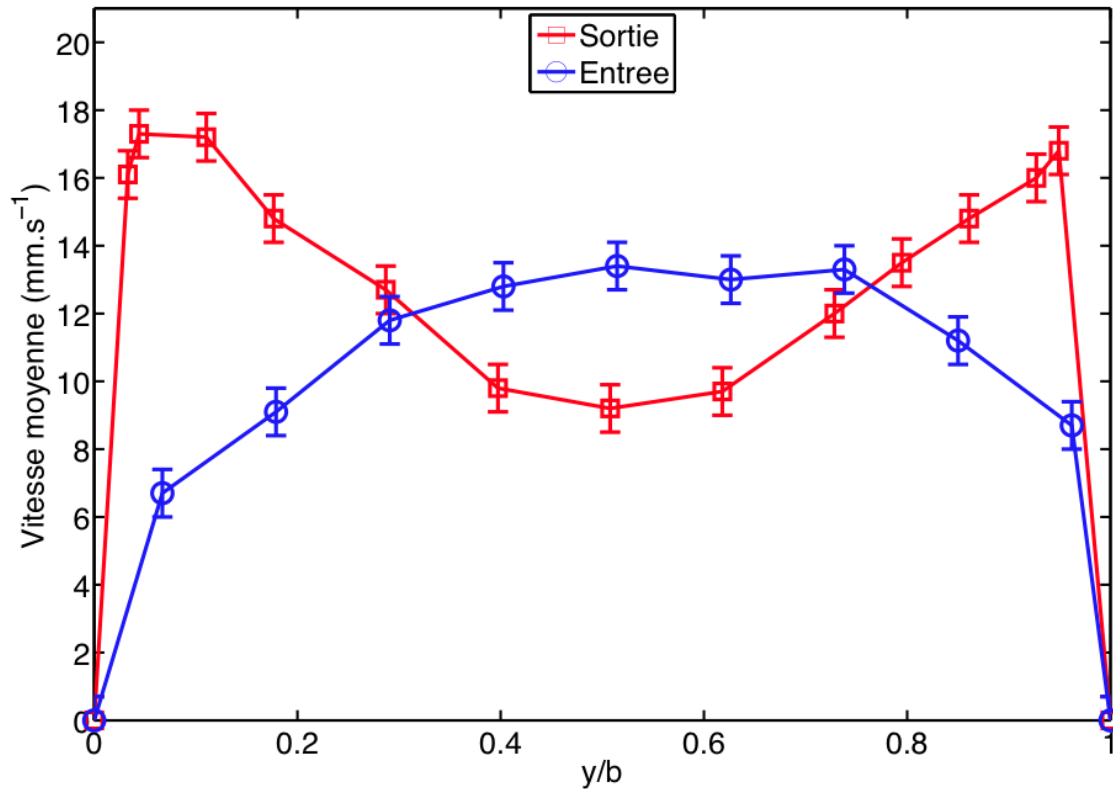
Mesures thermiques

- Fluxmètres en paroi (2×12)
- Thermocouples de $120 \mu\text{m}$ (40)
 - En paroi (2×12)
 - Dans l'isolant (2×2)
 - Dans l'eau de la cellule (2×6)
- Thermocouple de $25 \mu\text{m}$ au bout d'une perche dans le canal

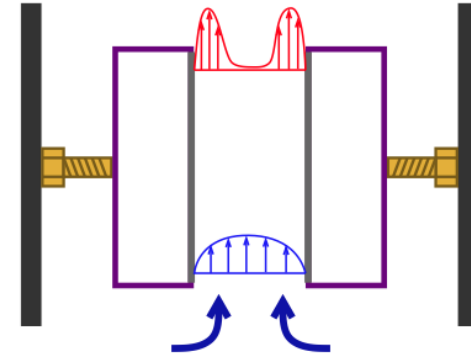
Mesures de vitesse

LDV deux composantes (selon x et y)

RESULTATS : Champ de Vitesse Entrée / Sortie



Profils de vitesse moyenne mesurée à 46 mm de l'entrée et de la sortie du canal.

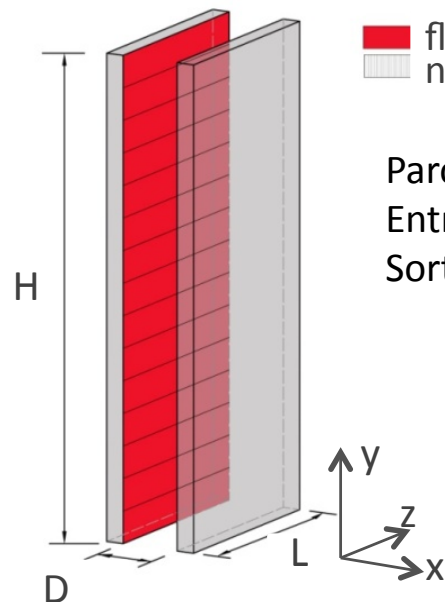


- $P_{\text{injectée}} : 280 \text{ W}$
- $T_{\text{entrée}} \sim 32,5^{\circ}\text{C}$
- $Ra^* \sim 7,8 \cdot 10^6$
- $Re_{\text{entrée}} = \frac{Ub}{\nu} \sim 630$
- $Re_{\text{sortie}} \sim 740$
- $\Delta Re \sim 15\%$

+ champ de vitesse et température

BANC EXPERIMENTAL EN AIR : COUPLAGE RAYONNEMENT/CONVECTION

Conditions limites



■ flux uniforme
■ non chauffée

Parois à flux imposé : 15 feuillets inox, 50 μm
 Entrée biseautée, 30°
 Sortie libre

Paramètres

$d/H = 1/15$
 $q_s \text{ (W/m}^2\text{)} \in [0; 500]$
 $Ra_d \in [10^6 - 10^8]$

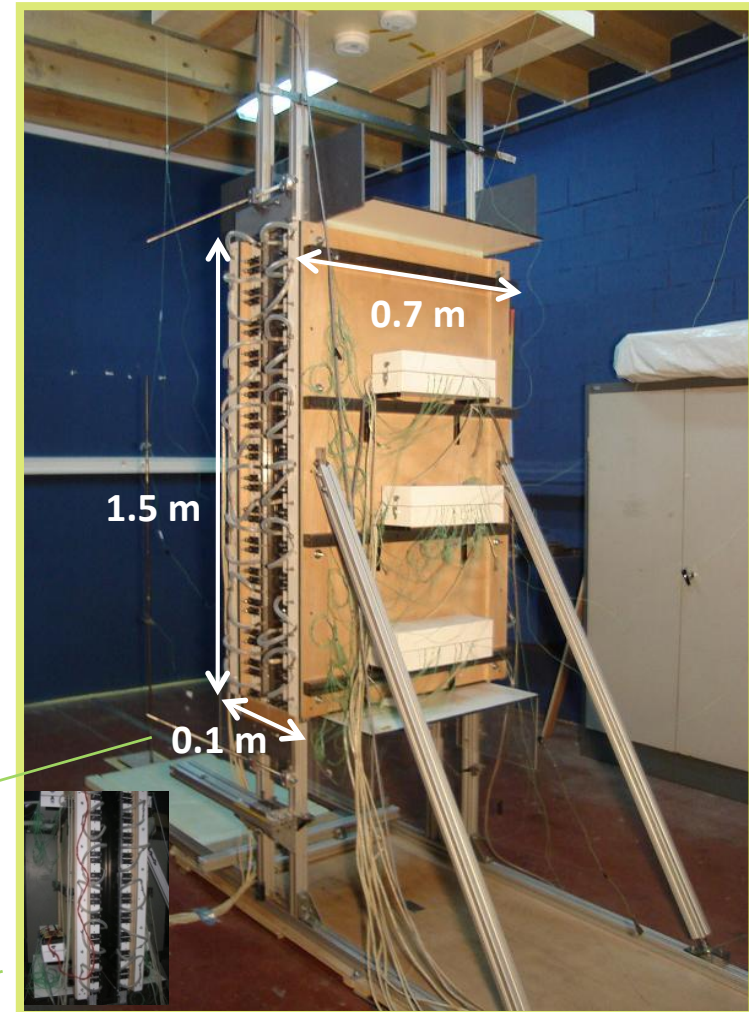
chauffage uniforme sur une paroi

$$Ra^* = Ra_d \cdot \left(\frac{d}{H}\right) = \frac{g \cdot \beta \cdot q_s \cdot d^4}{\nu^2 \cdot \lambda} \cdot \frac{d}{H} \cdot Pr$$

$$Ra^* = Ra_m \quad 4.12 \times 10^6$$

Arrière plaques isolées
 $\lambda = 0.027 \text{ W/m.k}$, 12 cm

Fermeture latérale
 du canal



Salle expérimentale : 170 m³

METROLOGIE

Température référence

- 1 th (type k, 200 μm diam) entrée du canal

Conditions extérieures

- 7 th (type k, 200 μm diam)
- stabilité cycle jour-nuit, 1.5 $^{\circ}\text{C}$
- stratification verticale, 2-2.5 $^{\circ}\text{C}$

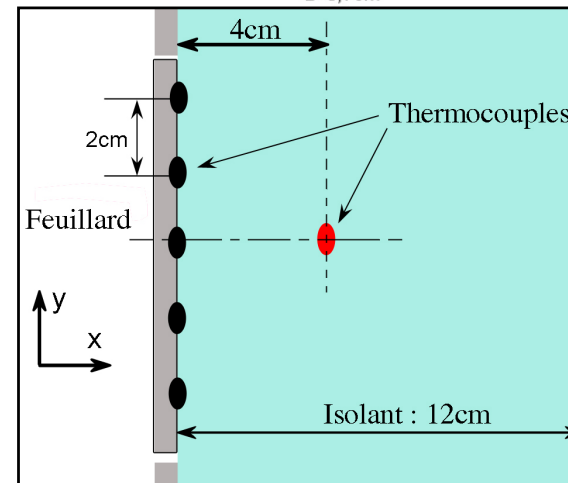
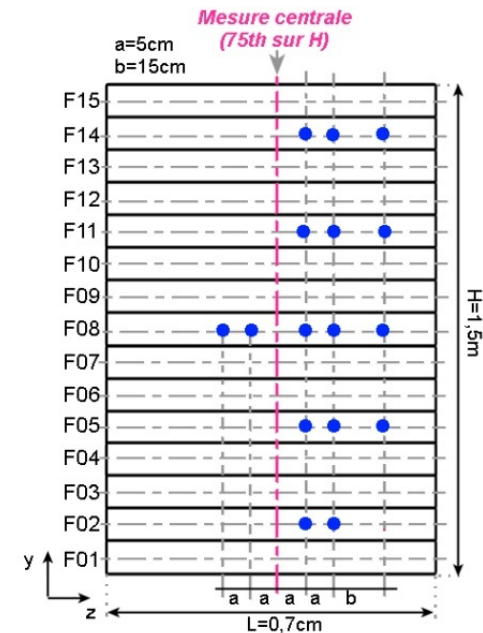
Température surface (chaque plaque)

- 75 th (type k, 120 μm diam) sur l'axe de symétrie vertical
- 16 th (type k, 120 μm diam) sur le plan périphérique

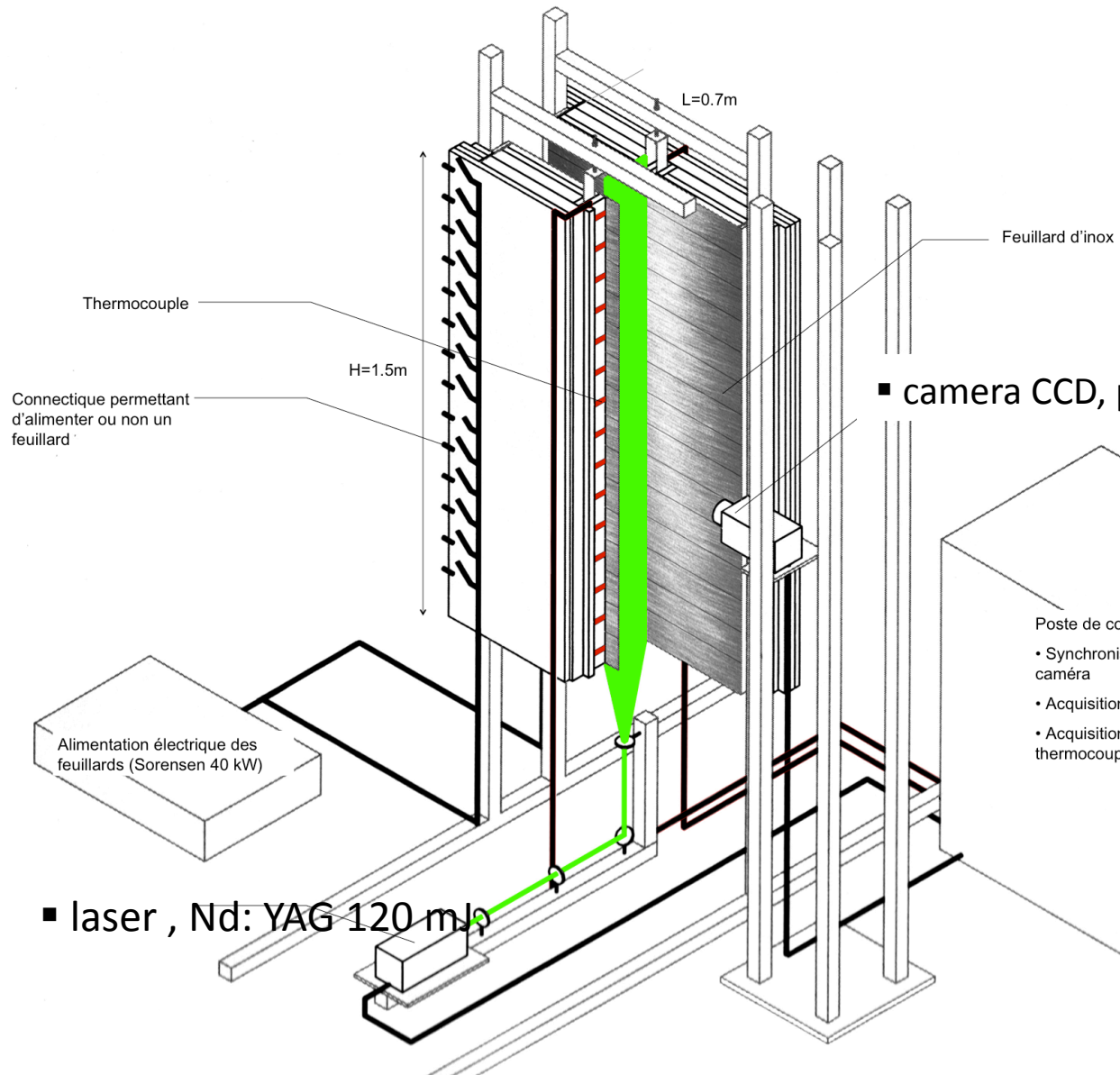
Température isolant (chaque plaque)

- 15 th (type k, 120 μm diam) sur l'axe de symétrie vertical

(fréquence acquisition = 0.02 Hz)



METROLOGIE



Ensemencement de l'écoulement

- micro-particules DEHS, $<1 \mu\text{m}$
- temps d'ensemencement: 5 min
- temps de stabilisation avant test: 30 min

- camera CCD, pco.2000

Paramètres principaux

- $\Delta t \in [1 \text{ ms} - 1.5 \text{ ms}]$
- capteur caméra : $1024 \times 1024 \text{ pixels}^2$
- résolution spatiale : $200 \mu\text{m}/\text{pixel}$
- champs d'observation : $200 \times 200 \text{ mm}^2$

- Poste de commande :
- Synchronisation laser/caméra
 - Acquisition des images PIV
 - Acquisition des signaux thermocouples

Post traitement des données

- Méthode Cross-correlation
- Fenêtres d'interrogation: $32 \times 32 \text{ pixels}^2$
- Recouvrement: 50-75%

Mesures PIV

- 12000 doublets d'image = 20 min

- laser , Nd: YAG 120 mJ

(fréquence d'acquisition = 11 Hz)

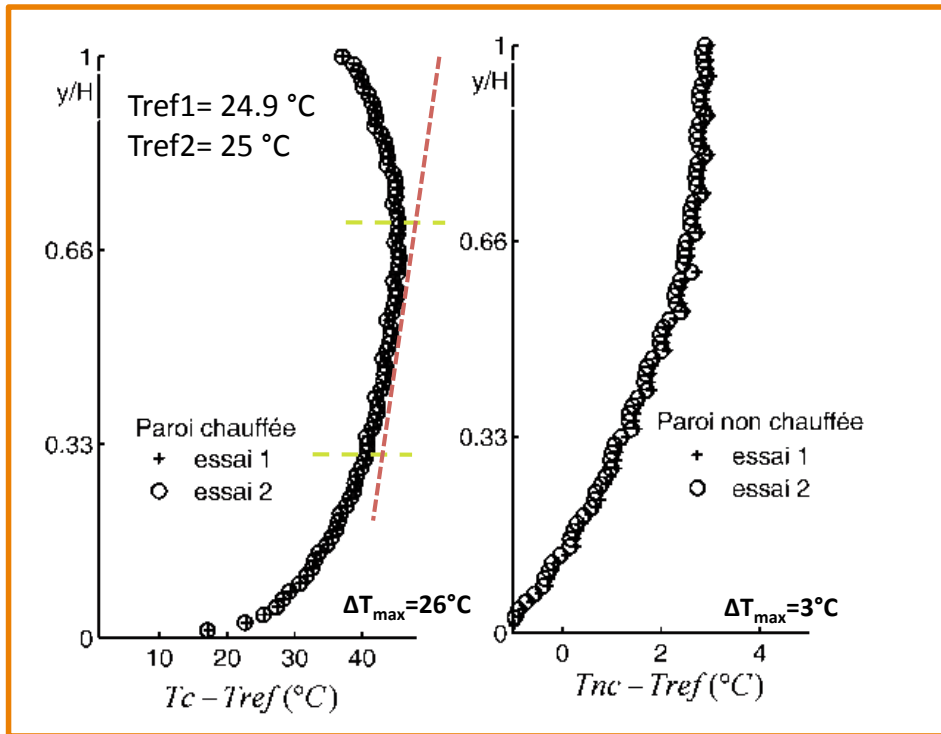
RESULTATS

Méthode indirecte $\Phi_{conv} = Q_{elec} - (\Phi_{pertes} + \Phi_{rad})$

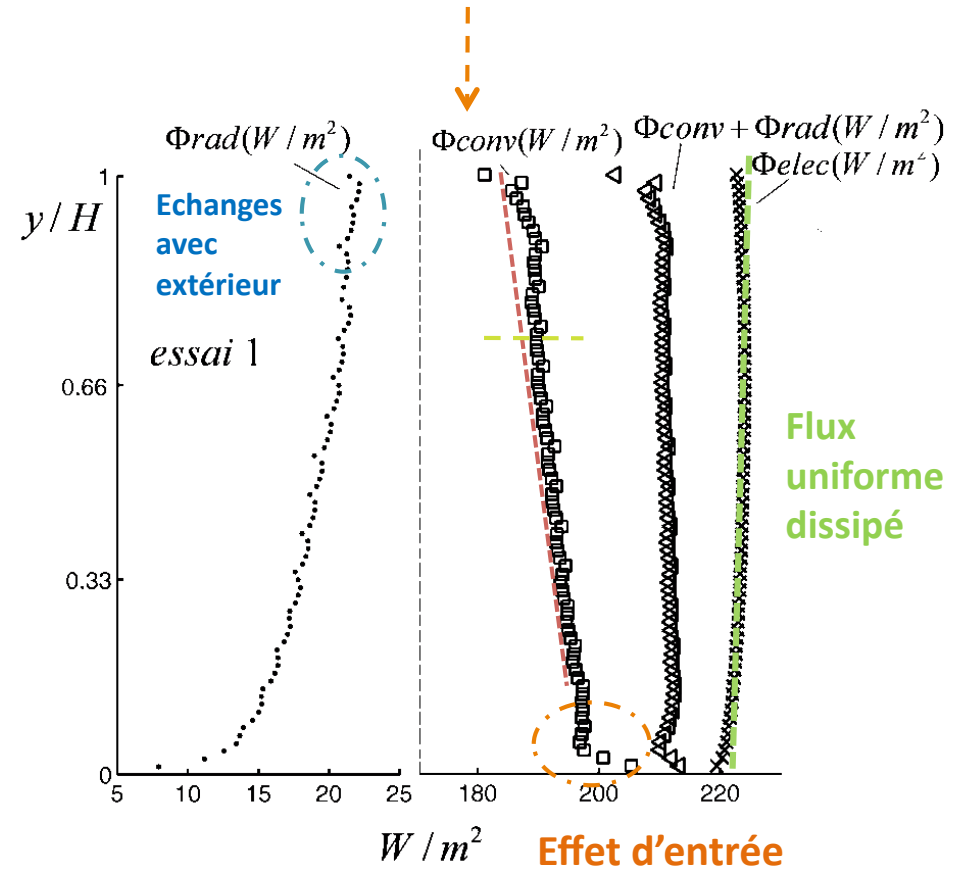
Flux électrique injecté \leftarrow Φ_{rad} méthode des radiosités, ~ 8%

Φ_{pertes} \downarrow Conduction ~ 3.5 %

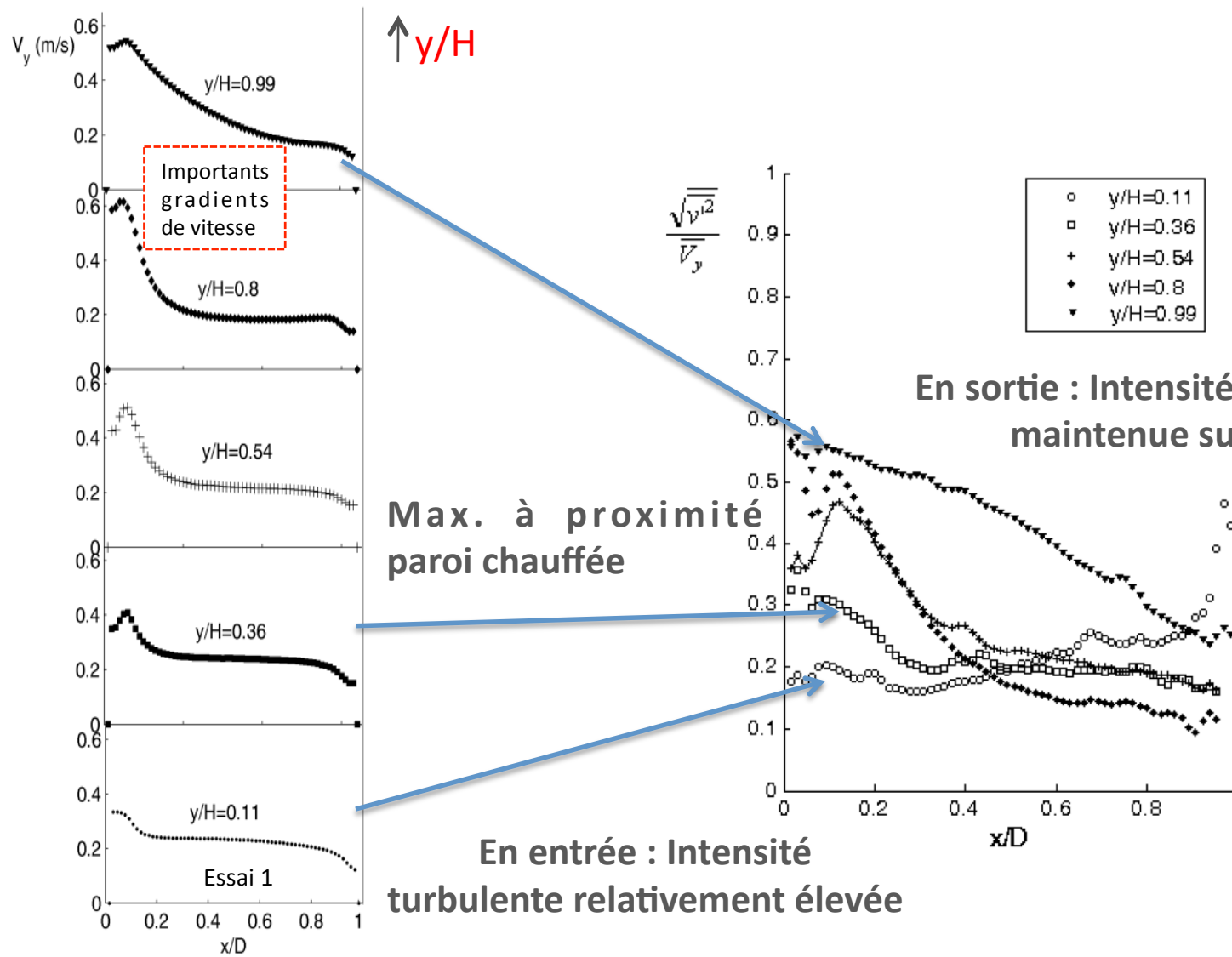
Bilan local \uparrow



Répétabilité en température : écart max 1,4%



RESULTATS





BANC EXPERIMENTAL EN AIR : COUPLAGE RAYONNEMENT/CONVECTION

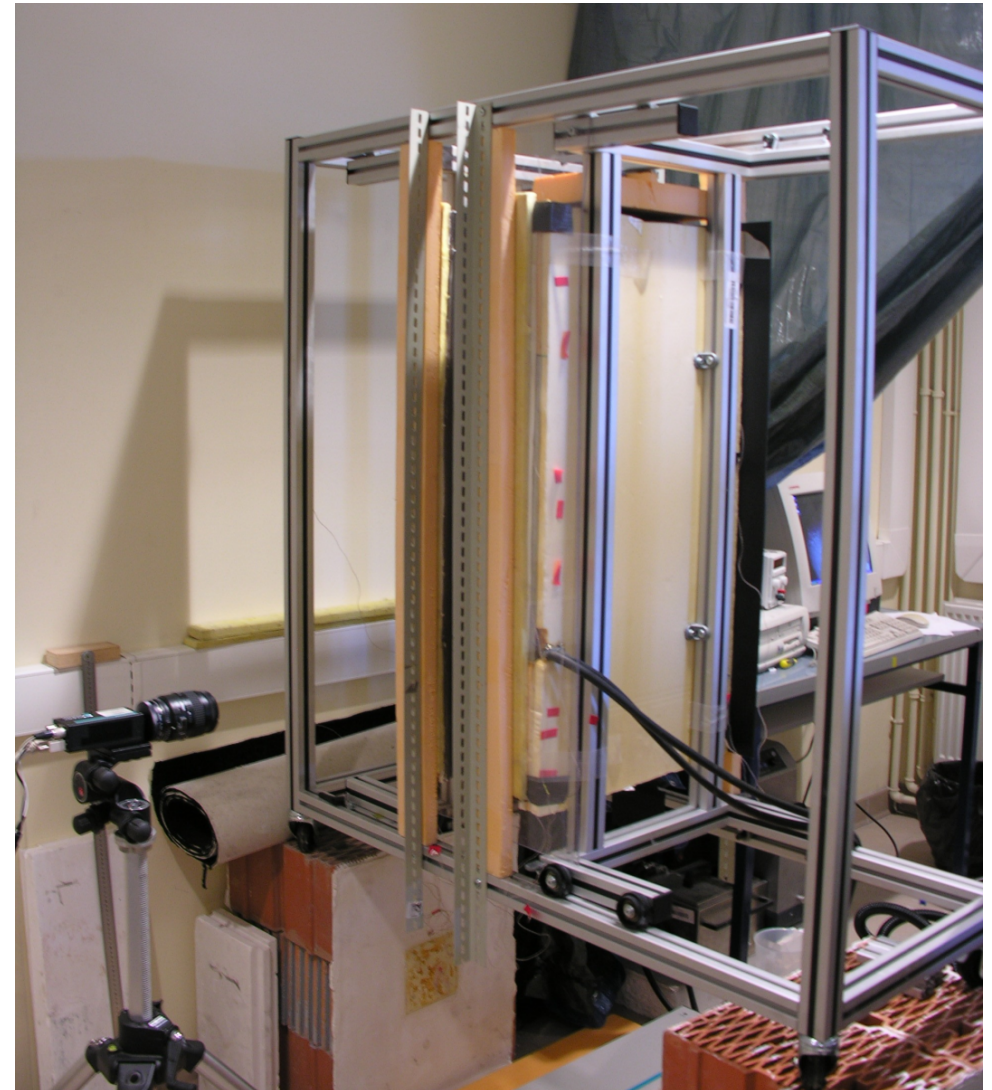
**Annabelle JOULIN, Stéphane LASSUE, Laurent ZALEWSKI, Yassine
CHERIF**

**Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement
Université de Lille Nord de France**

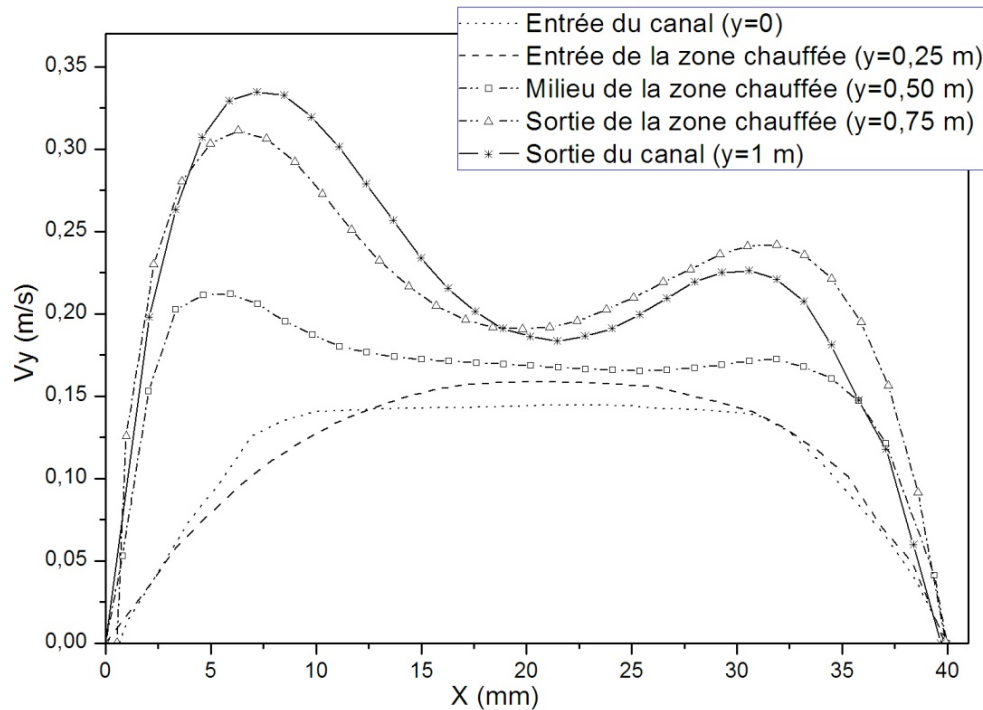
caméra Flowsense 2M, résolution spatiale
 1600×1186 pixels, fréquence d'acquisition 15 Hz.
laser continu YAG, énergie 30 mJ pour 15 Hz



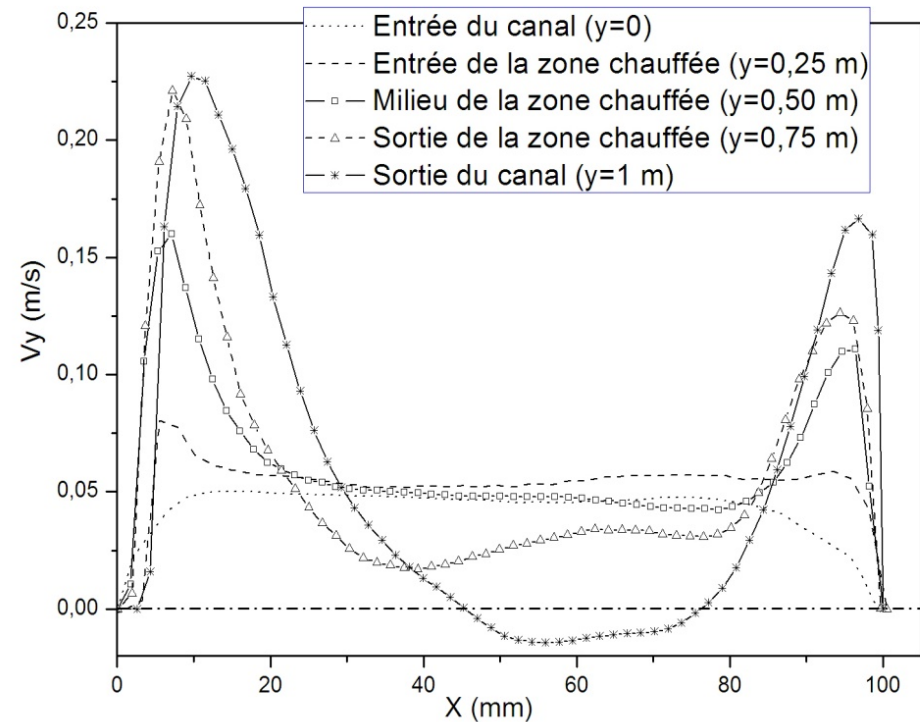
19 capteurs de flux sur la plaque chauffée
18 thermocouples type T



Composante verticale de la vitesse en fonction de la dimension transversale à l'écoulement X avec d=4 cm



$$Ra_m = 9,2 \cdot 10^3$$

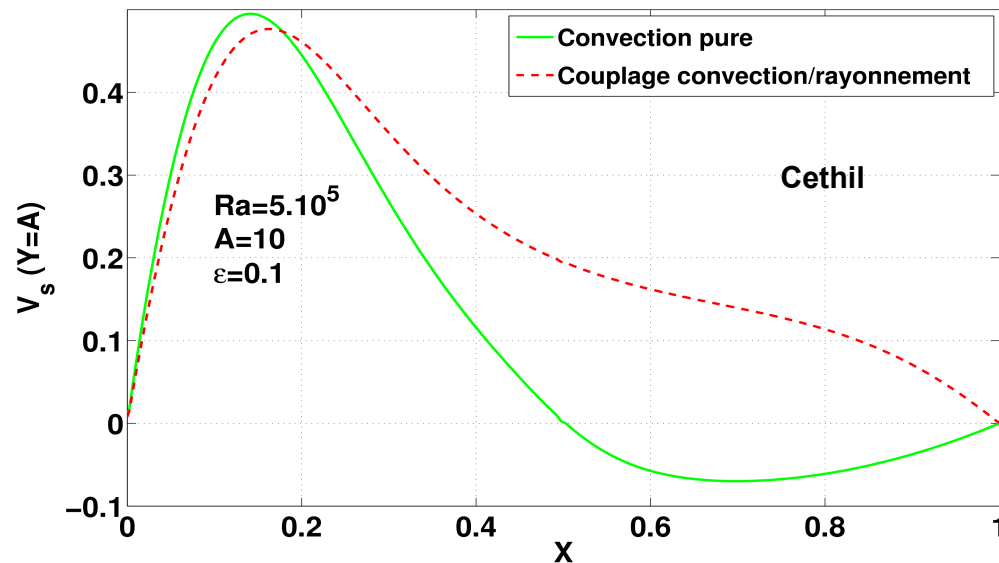


$$Ra_m = 3,6 \cdot 10^5$$

Perspectives



- Couplage convection / Rayonnement
- Comparaison résultats expérimentaux / numériques
- Calculs avec volumes fictifs entrée/sortie



Couplage rayonnement de surface
et convection naturelle

Convection pure

