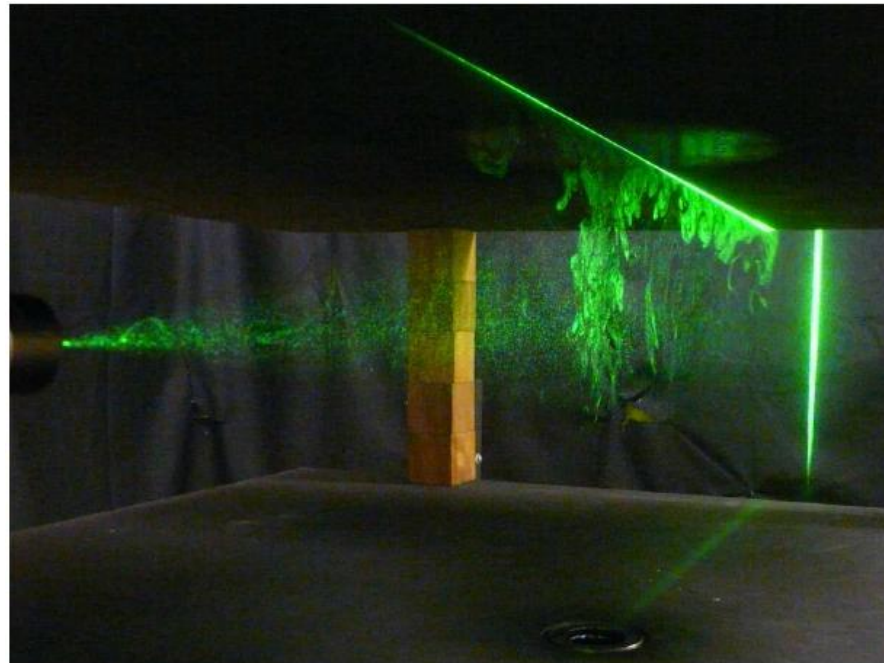


Mesures sur des panaches turbulents



Imperial College
London

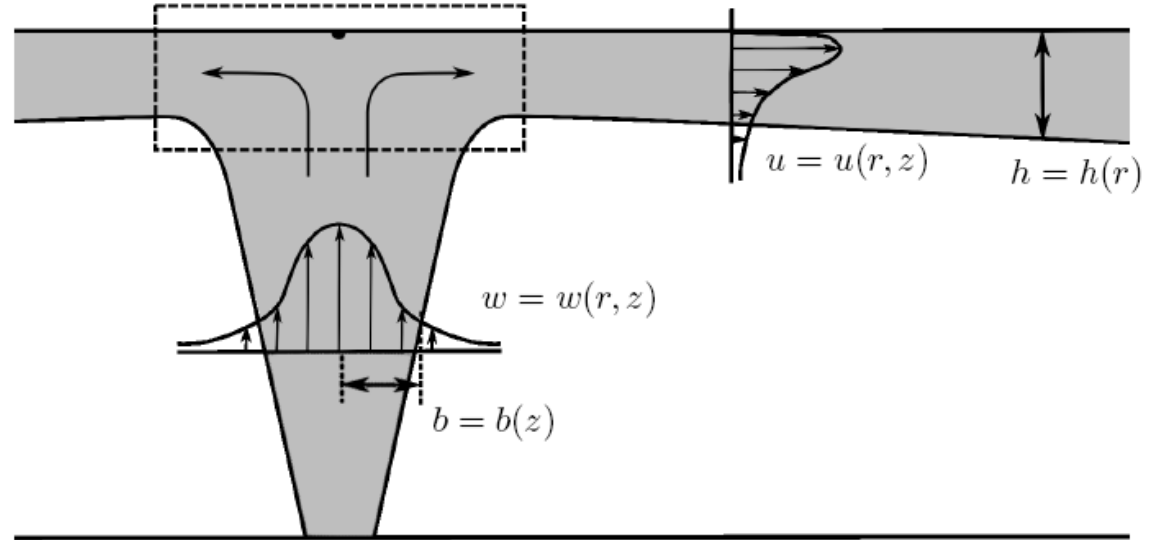
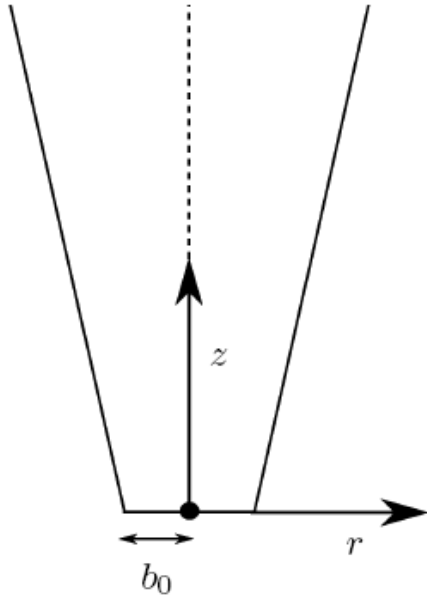


Adam Ezzamel, Pietro Salizzoni, Gary Hunt

Sommaire

1. Histoire du projet
2. Objectifs de la recherche
3. Présentations des résultats expérimentaux
4. Discussion

Contexte



Thèse : 2007-2011, '*Free and confined buoyant flows*'

- Mesures de température et vitesse à haute résolution
- Panaches libres et confinés

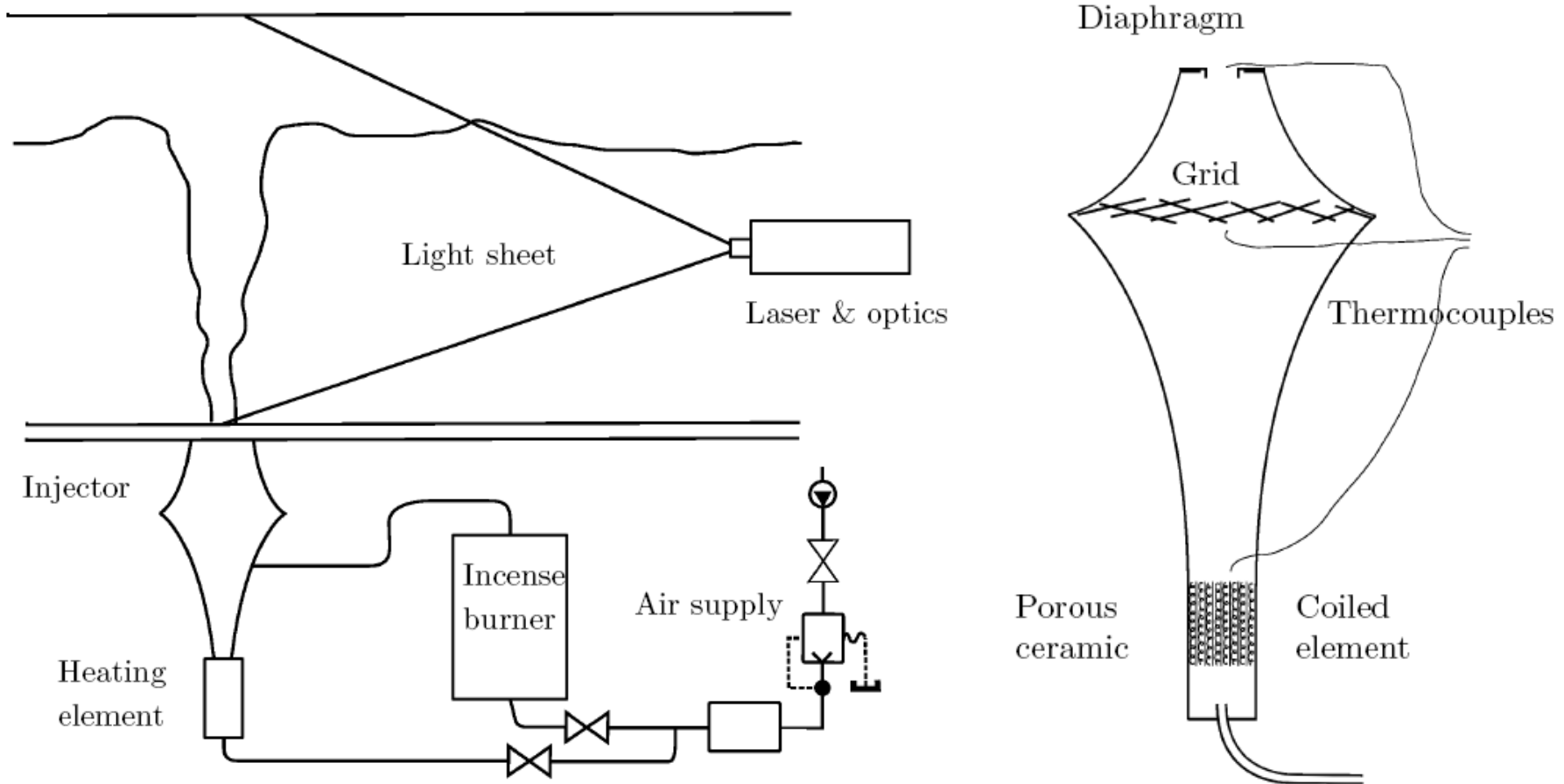
Objectifs

1. Investigation de l'auto-similarité dans les panaches
2. Estimation de la zone d'établissement (ZFE) du panache,
3. Mesurer le coefficient d'entraînement
4. Vérification des hypothèses du modèle de Morton, Taylor & Turner,
5. Hypothèse de faible no. de Mach.

L'expérience

- Panaches thermiques dans l'air
- Température à l'injection 393 K
- Débit 60 litres / min
- Environnement calme et uniforme
(*a priori* ?)

Schéma de l'expérience



Conditions à la source

Plume	b_0 cm	Q_0 cm^3s^{-1}	M_0 cm^4s^{-2}	B_0 cm^4s^{-3}	L_M cm	Γ_0	Re_0
J	0.5	1,490	$2,800 \times 10^3$	4,800	186	0.0002	7,700
F	1.5	1,490	310×10^3	4,800	36	0.038	2,600
P	2.5	1,010	52×10^3	3,100	12	1.0	1,100
L	3.4	1,010	28×10^3	3,100	7	4.7	800

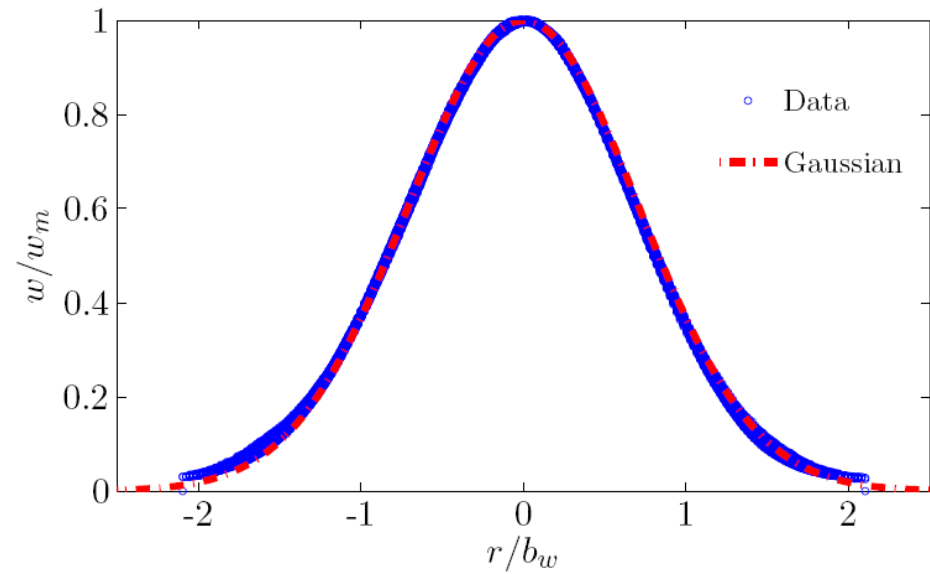
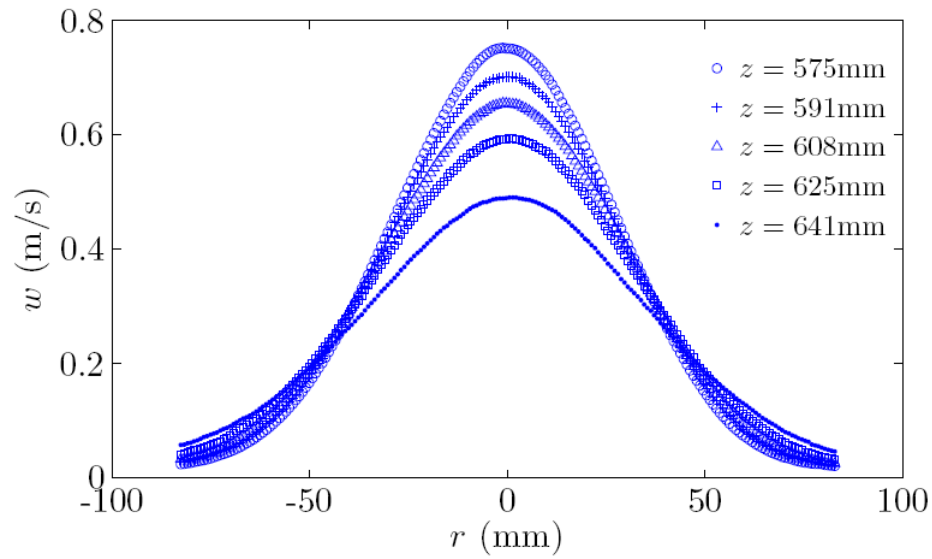
$$\Gamma_0 \sim \frac{Q_0^2 B_0}{M_0^{5/2}} = \frac{L_Q^2}{L_M^2}$$

$$Re(z) = \frac{\overline{w}(z)b_w(z)}{\nu}$$

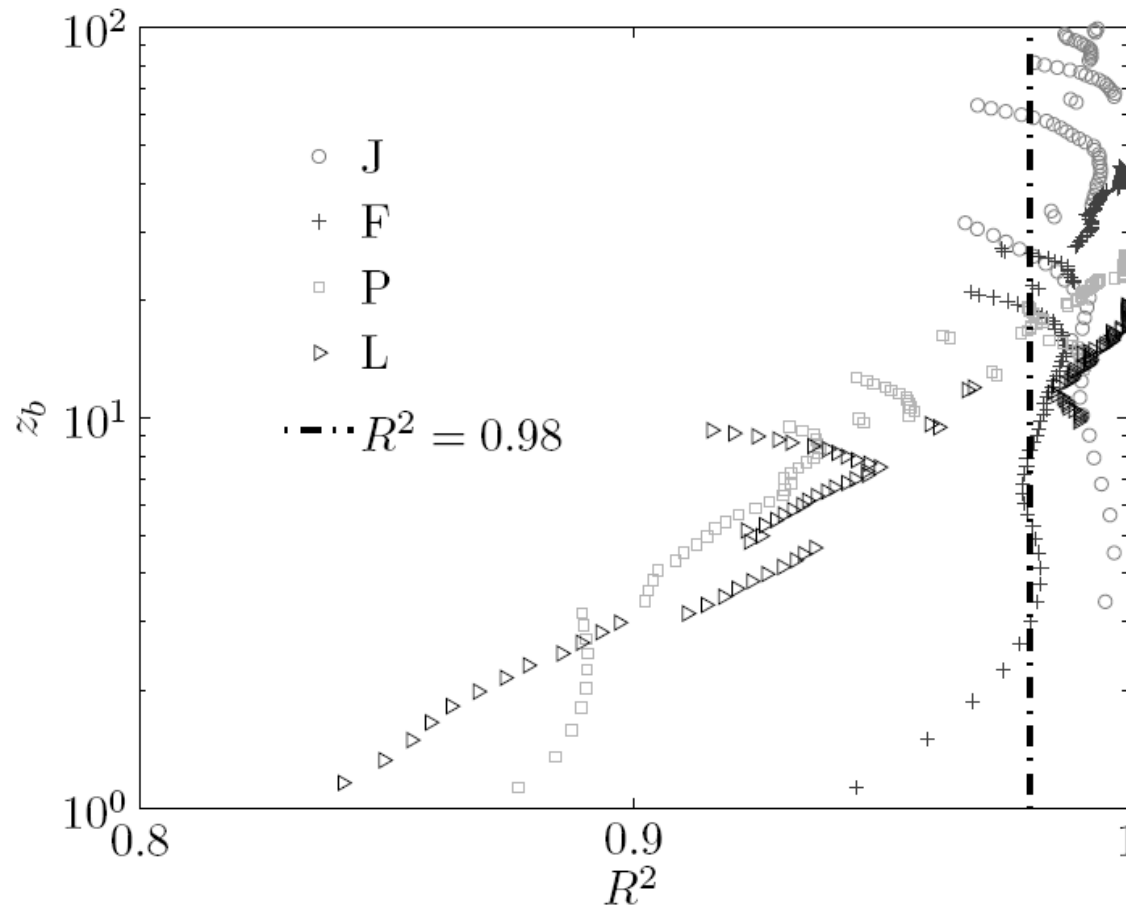
Richardson à la source
Morton (1959)

Reynolds local

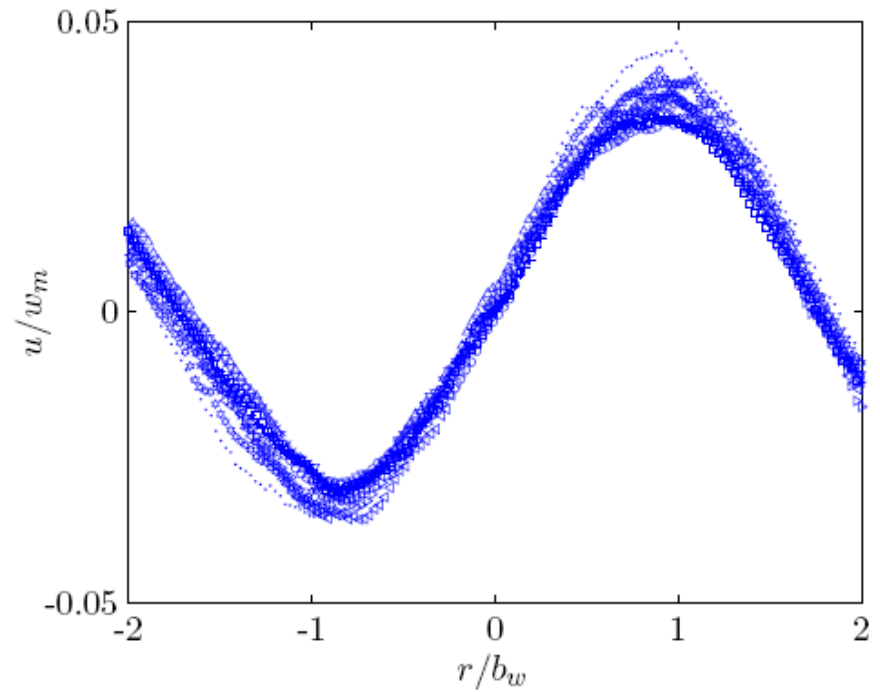
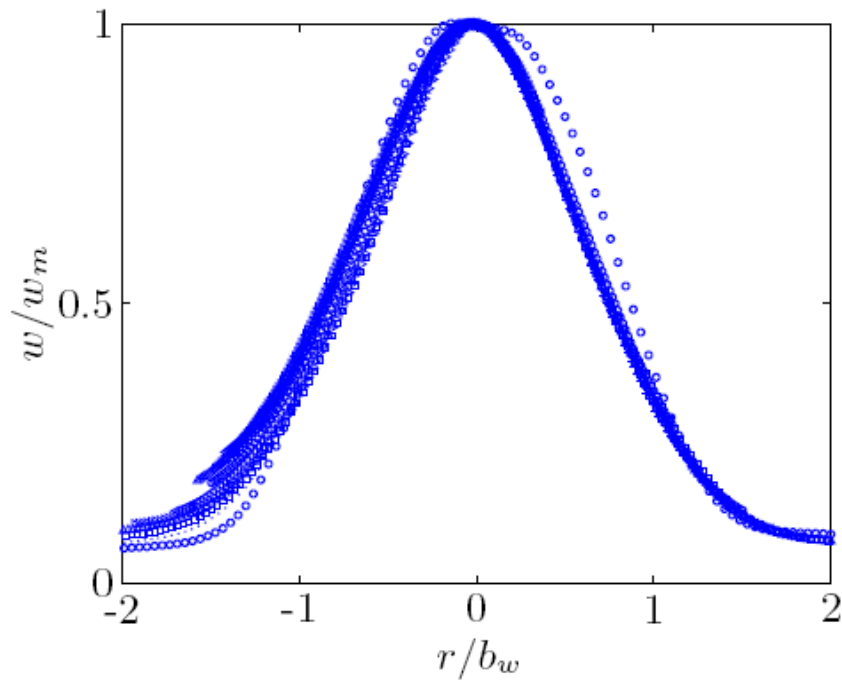
Auto-similitude de la vitesse moyenne verticale



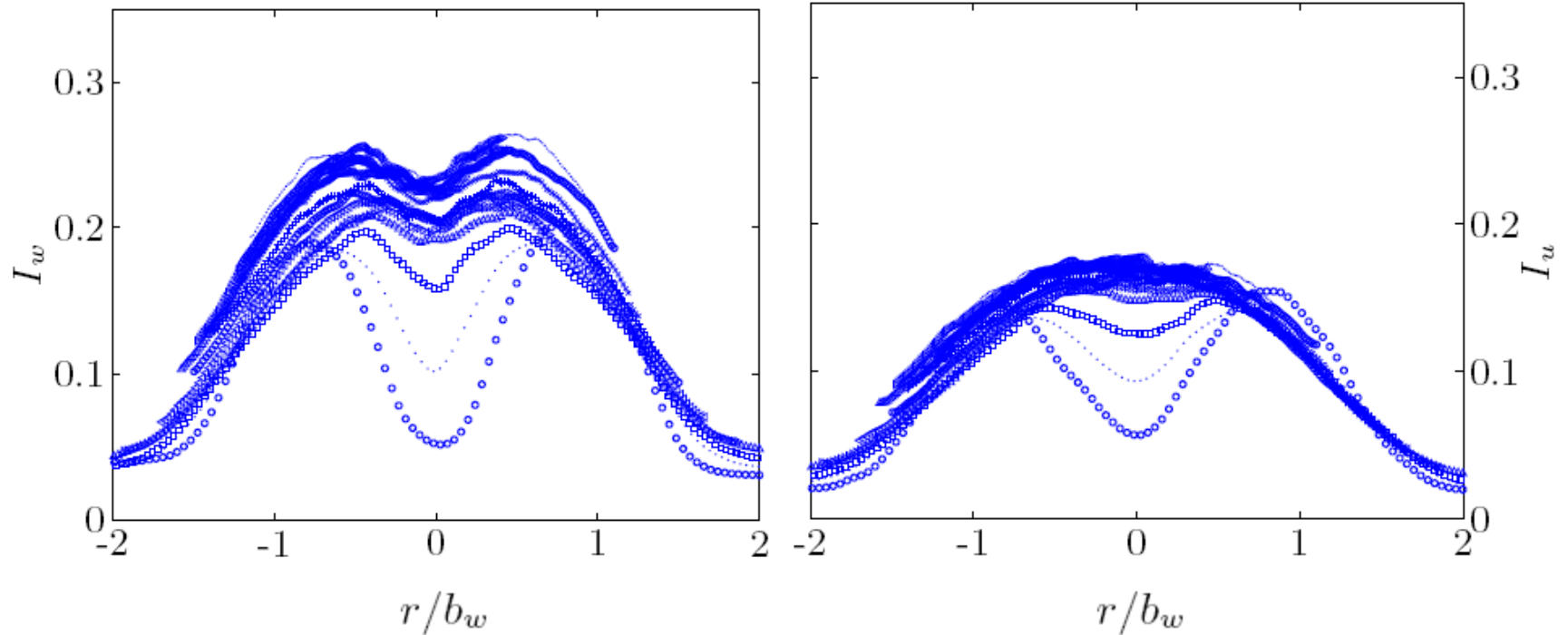
Auto-similitude de la vitesse moyenne verticale



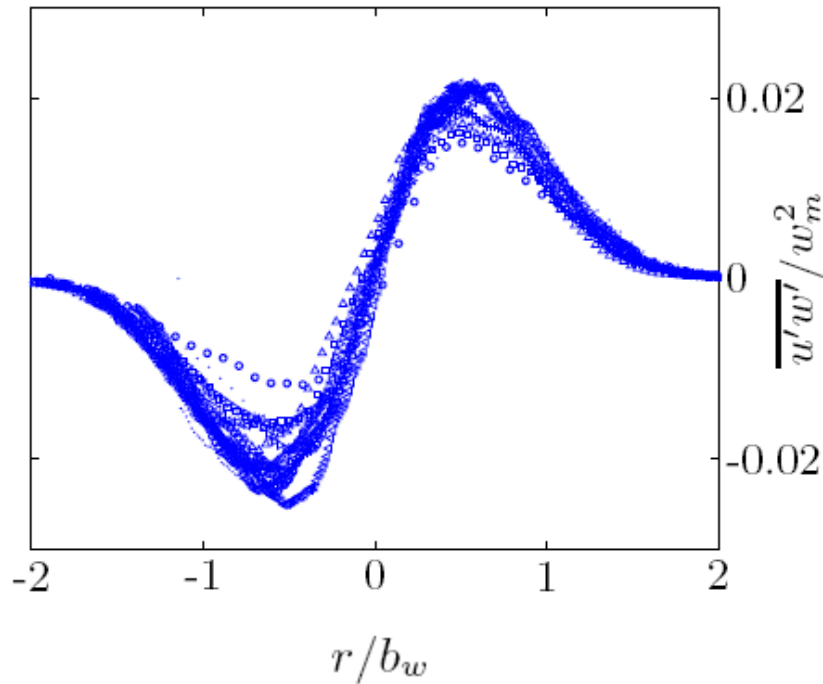
Profils de vitesse moyenne



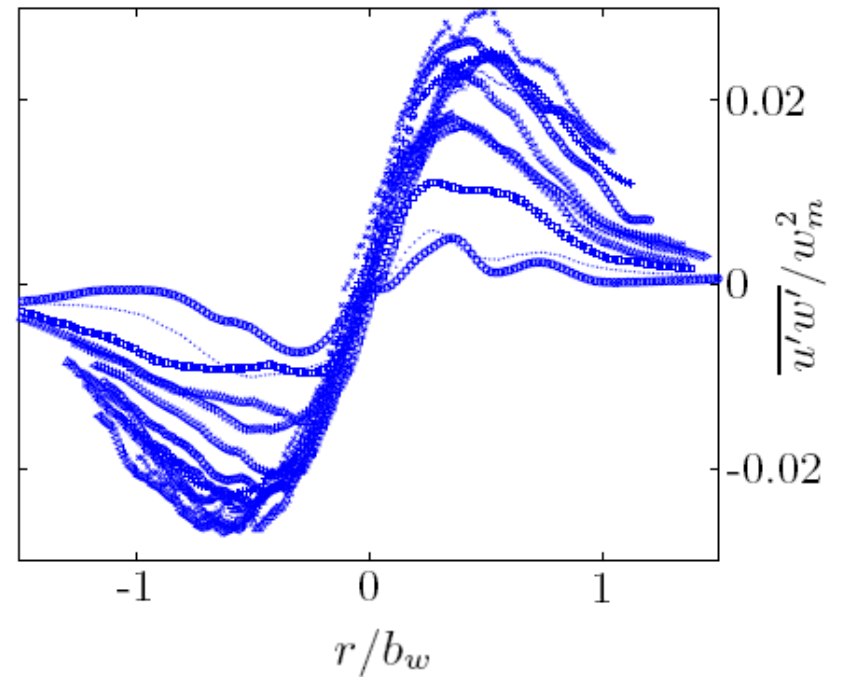
Intensité turbulente



Contraintes Reynolds de cisaillement



Jet

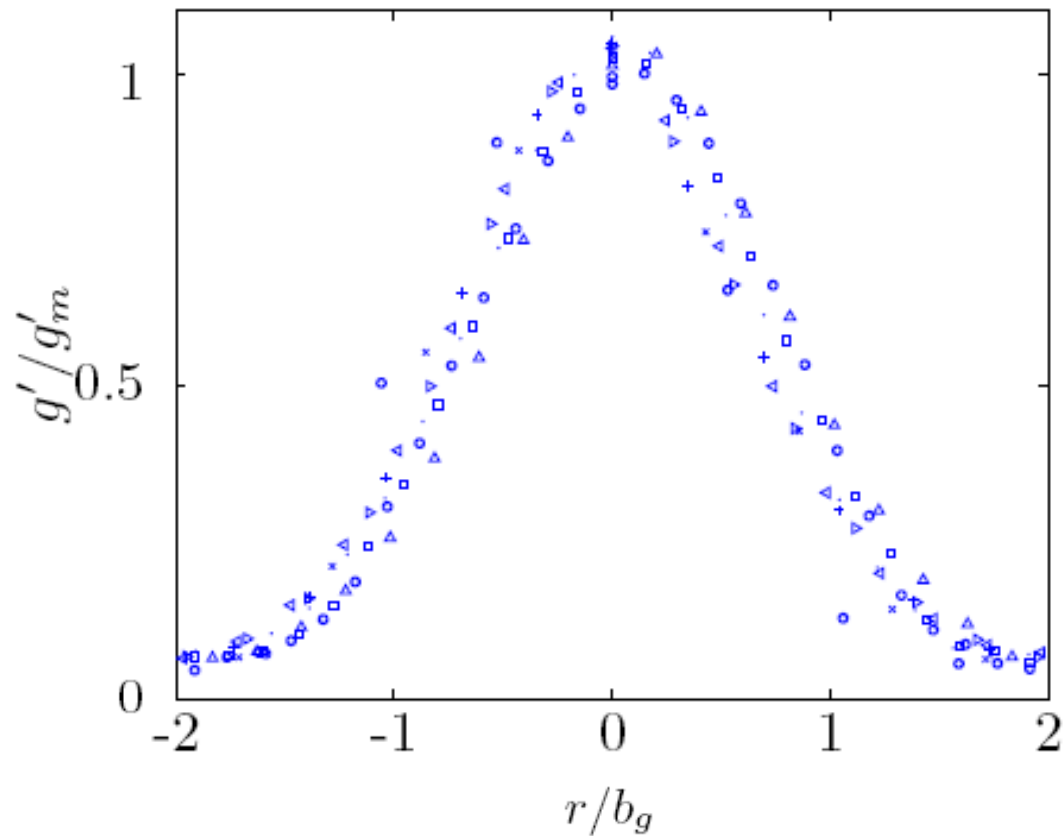


'Paresseux'

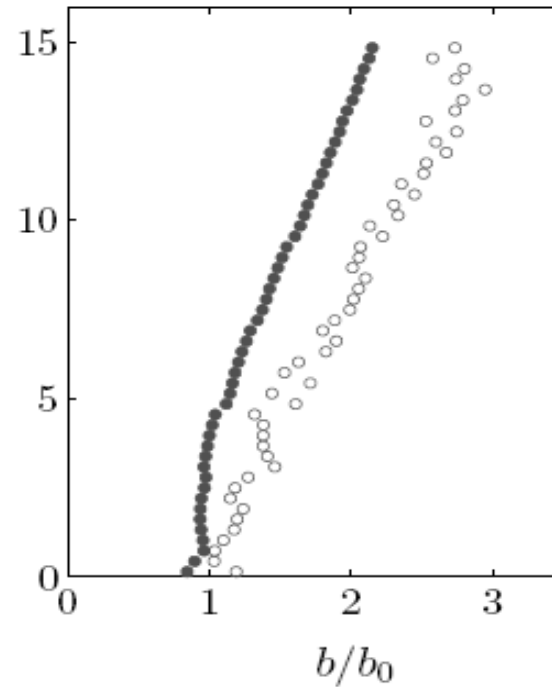
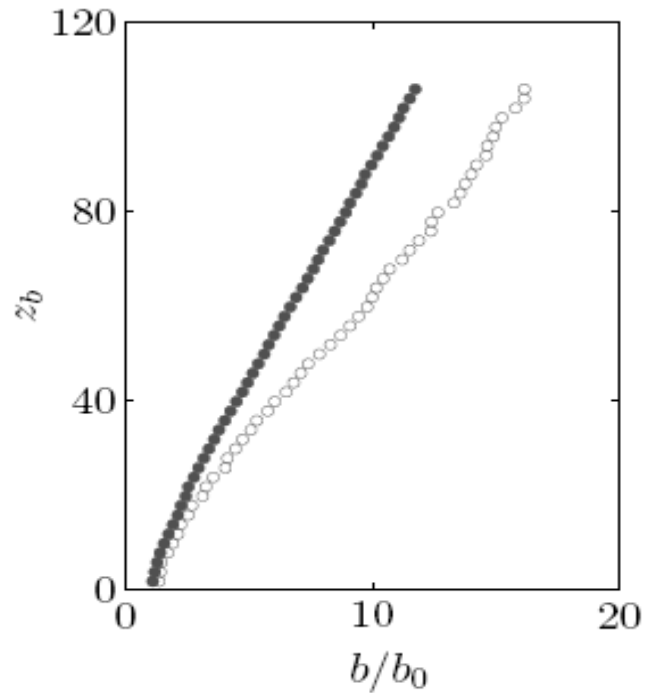
Estimation de la ZFE

Plume	ZFE, z_b		Re_0
	1st moment	2nd moment	
J	< 2	16	7,700
F	4	15	2,600
P	11	13	1,100
L	10	12	800

Profils de flottabilité (température)



Différence de similitude

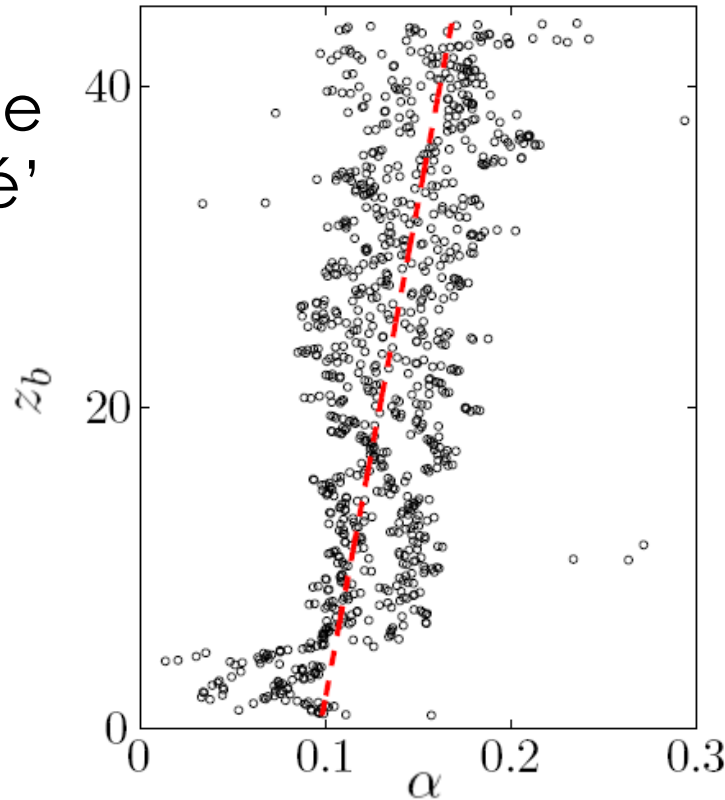


- Rapport $\varphi \approx 1.20$

- Disparité dans la littérature $0.85 < \varphi < 1.35$
- Accord avec Papanicolaou & List (1988)

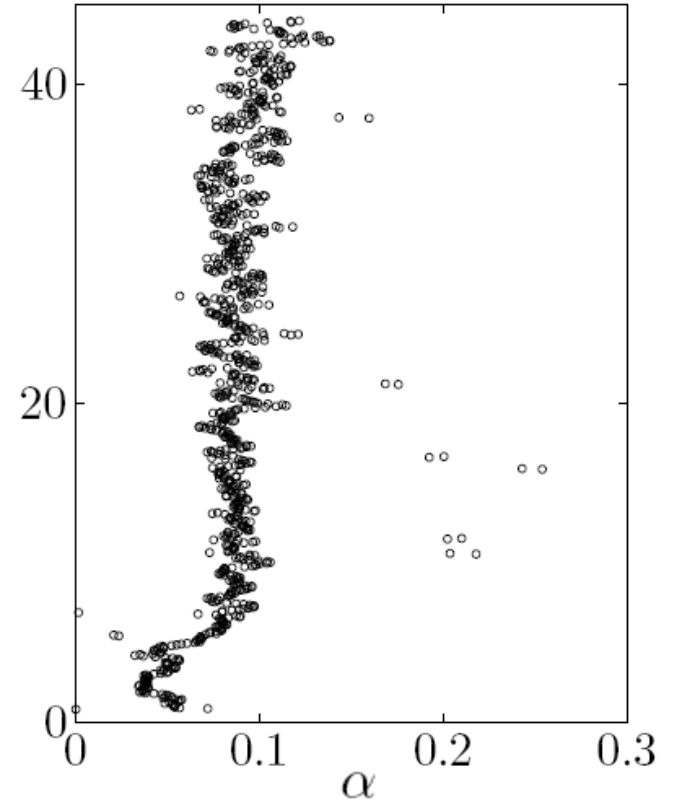
Coefficient d'entrainement

Panache
'forcé'



Méthode de flux

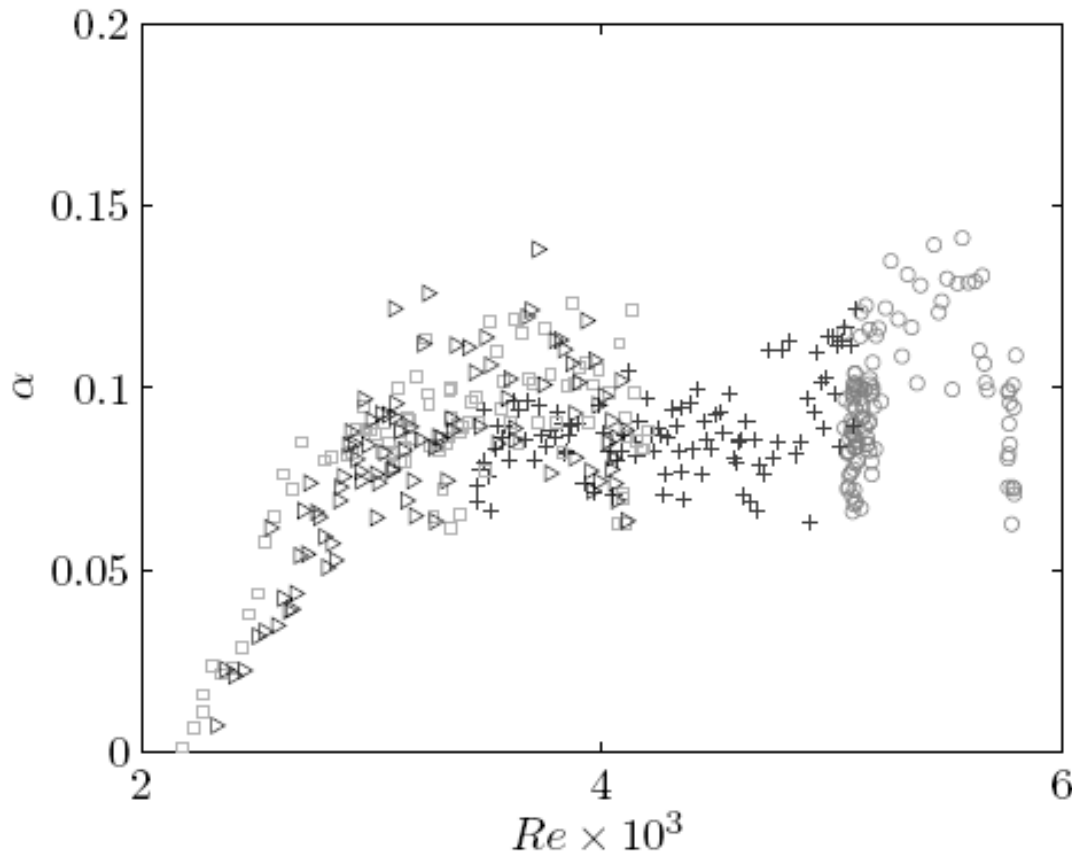
$$\alpha_i = \frac{Q_{i+1} - Q_{i-1}}{2\pi w_i b_i \delta z}$$



Méthode de rayon

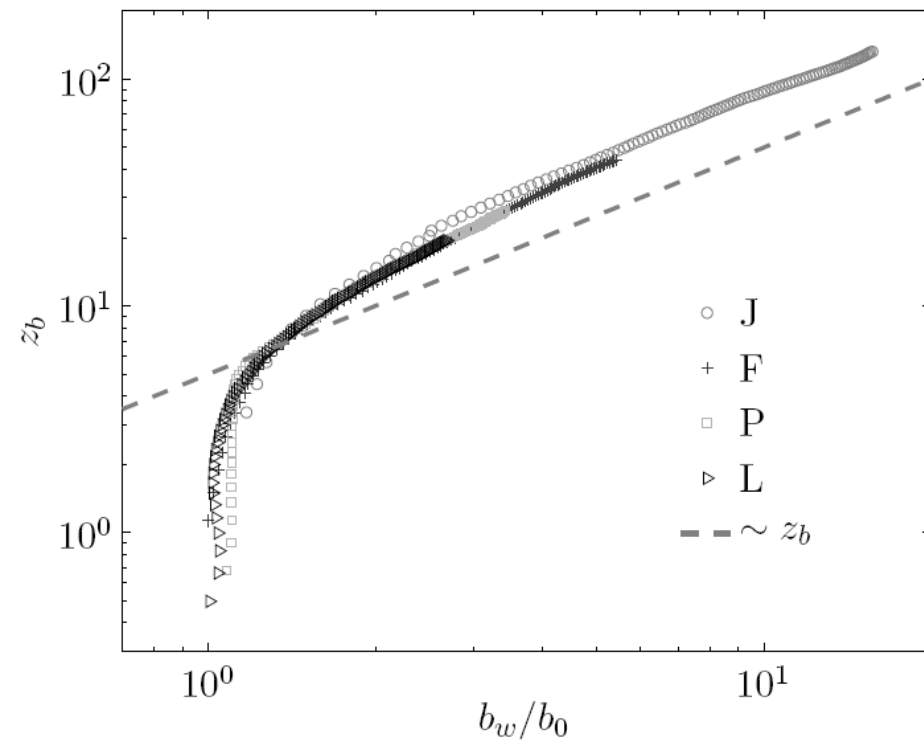
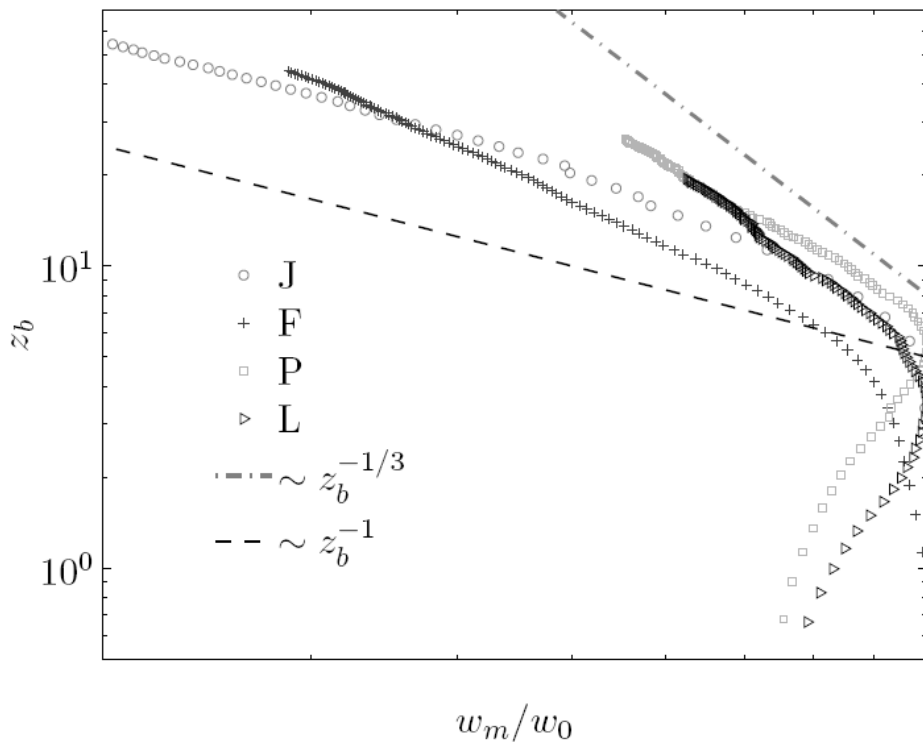
$$\alpha_i = \frac{5(b_{i+1} - b_{i-1})}{12\delta z}$$

Coefficient d'entrainement contre no. de Reynolds

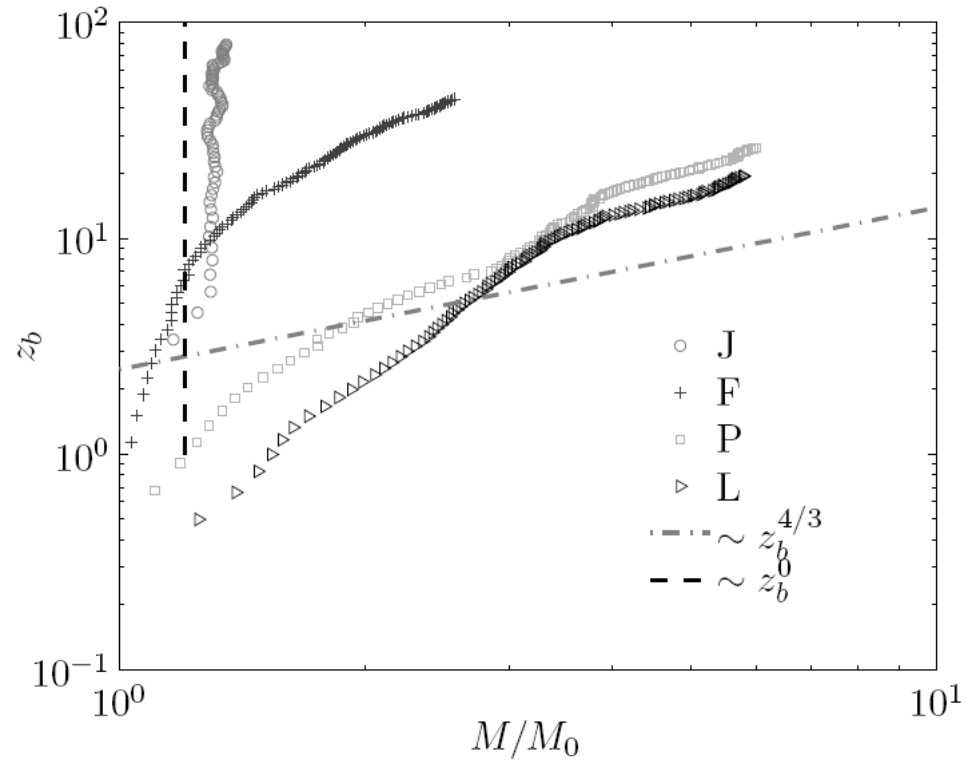
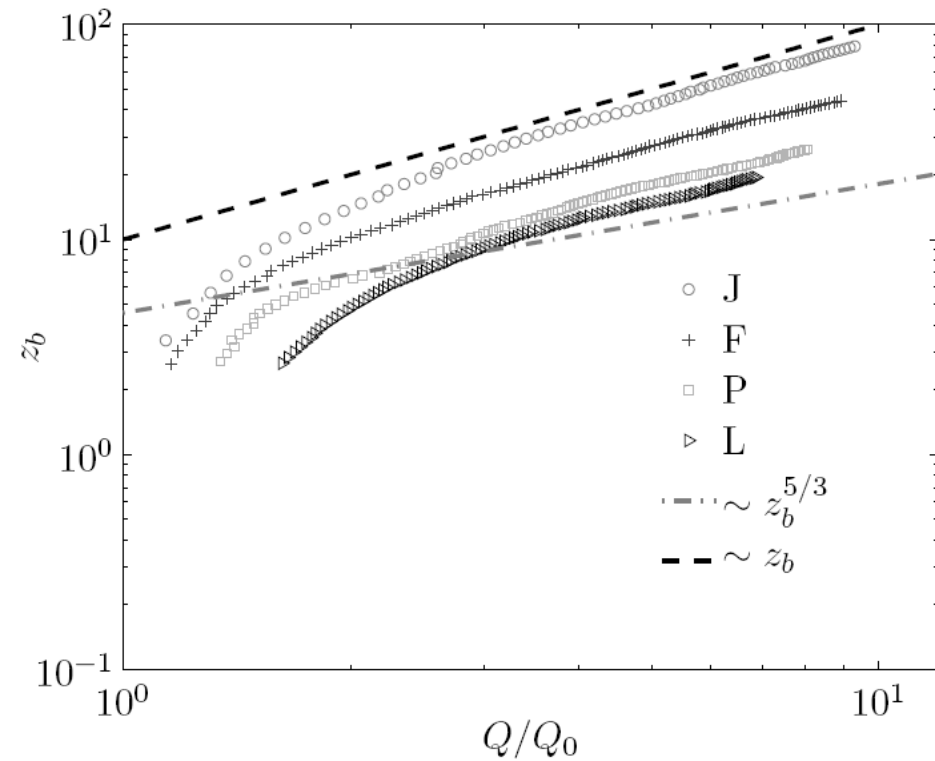


Indépendance
au-delà de
 $Re \approx 3,000$

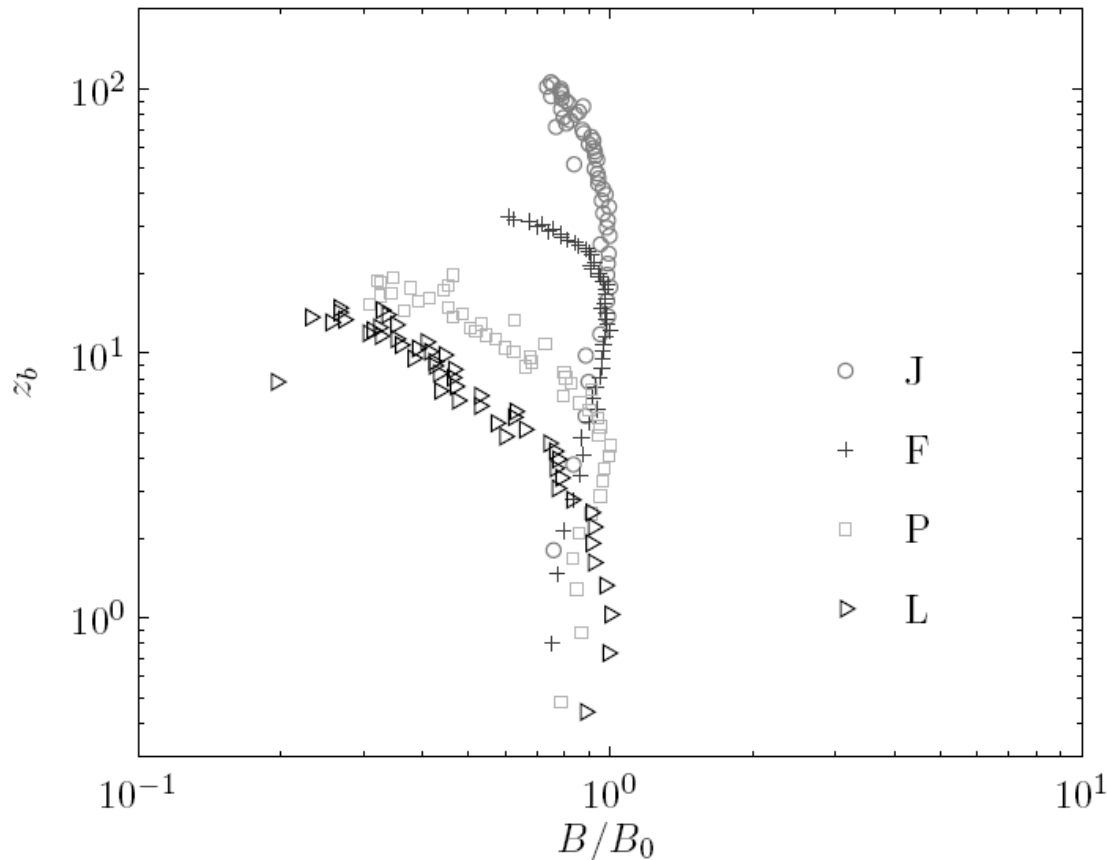
Vitesse verticale et rayon du panache



Flux de volume et q.d.m.

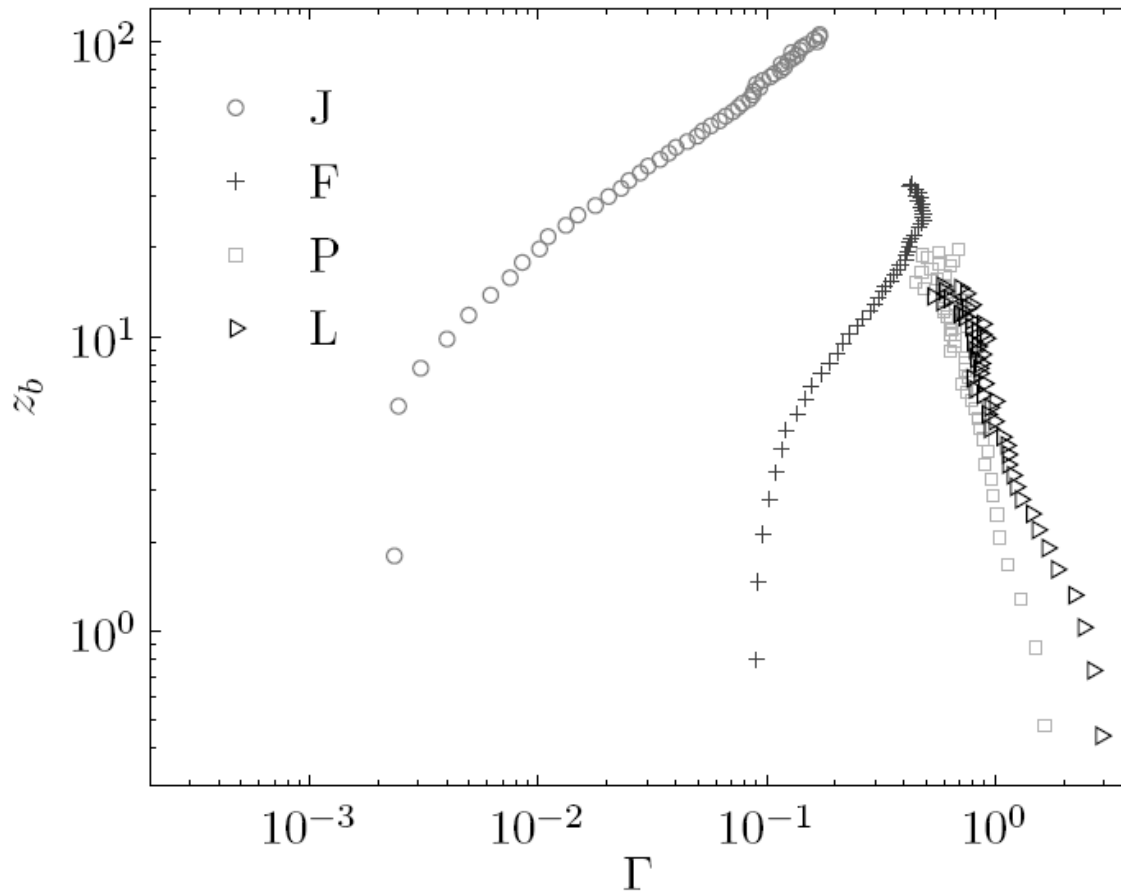


Flux de flottabilité (buoyancy)



Pas conservé du à la stratification dans la pièce $\approx 1\text{K} / \text{m}$, voir George (1990) 'Experiments, Governing Equations and the Experimentalist'

Nombre de Richardson du panache, Γ



Tend vers 1
comme prédit
par le modèle
théorique

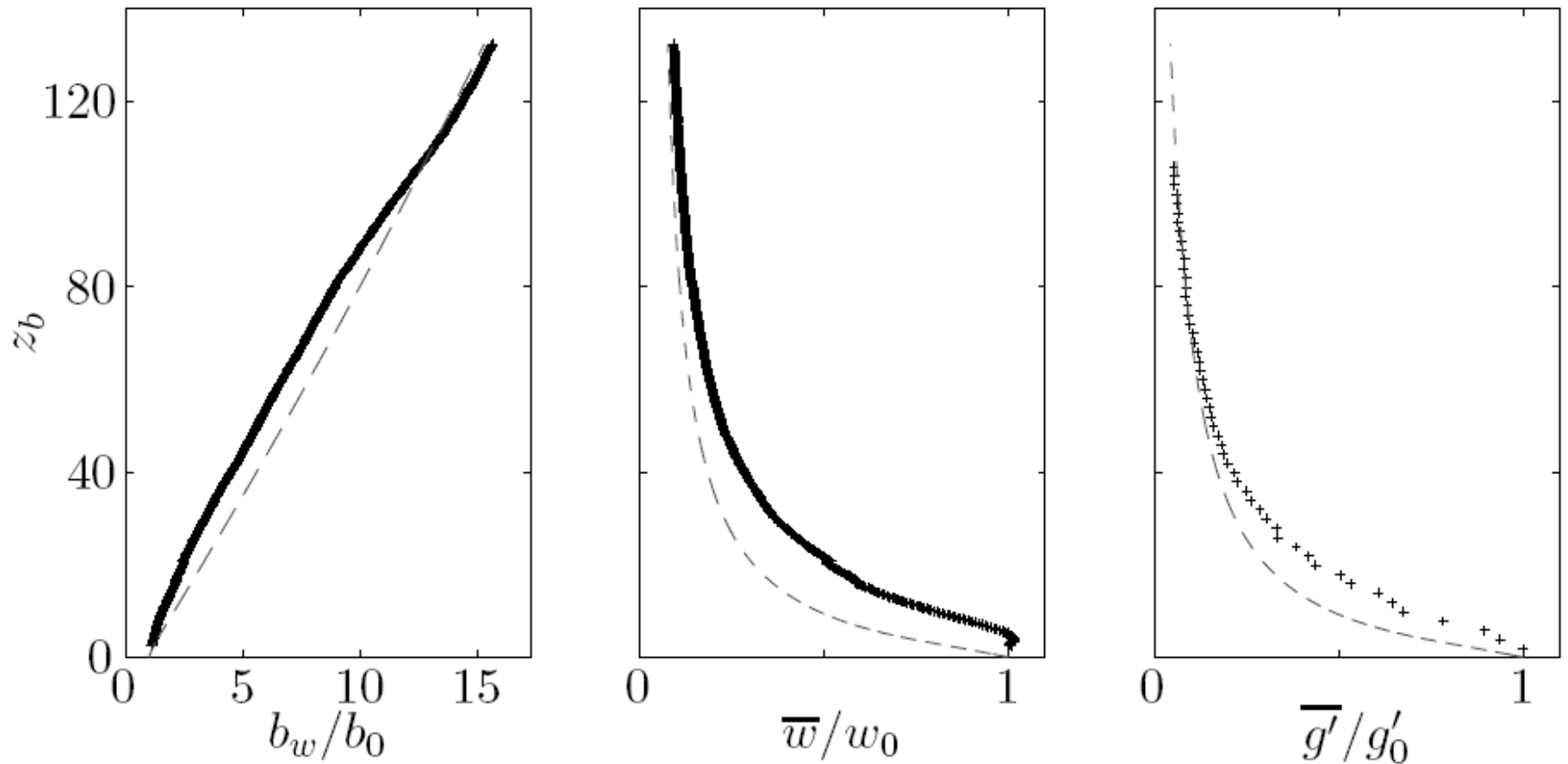
Comparaison avec modèle

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dz}(wb^2) = 2bu_\alpha \\ \frac{d}{dz}(w^2b^2) = g'b^2 \\ \frac{d}{dz}(b^2w) = -N^2bw^2 \end{array} \right. \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{dg'}{dz} = -N^2 - \frac{2\alpha g'}{b} \\ \frac{dw}{dz} = Ri_0 \frac{g'}{w} - \frac{2\alpha w}{b} \\ \frac{db}{dz} = \alpha - \frac{b}{2w} \frac{dw}{dz} \end{array} \right. .$$

Morton, Taylor, Turner (1956)

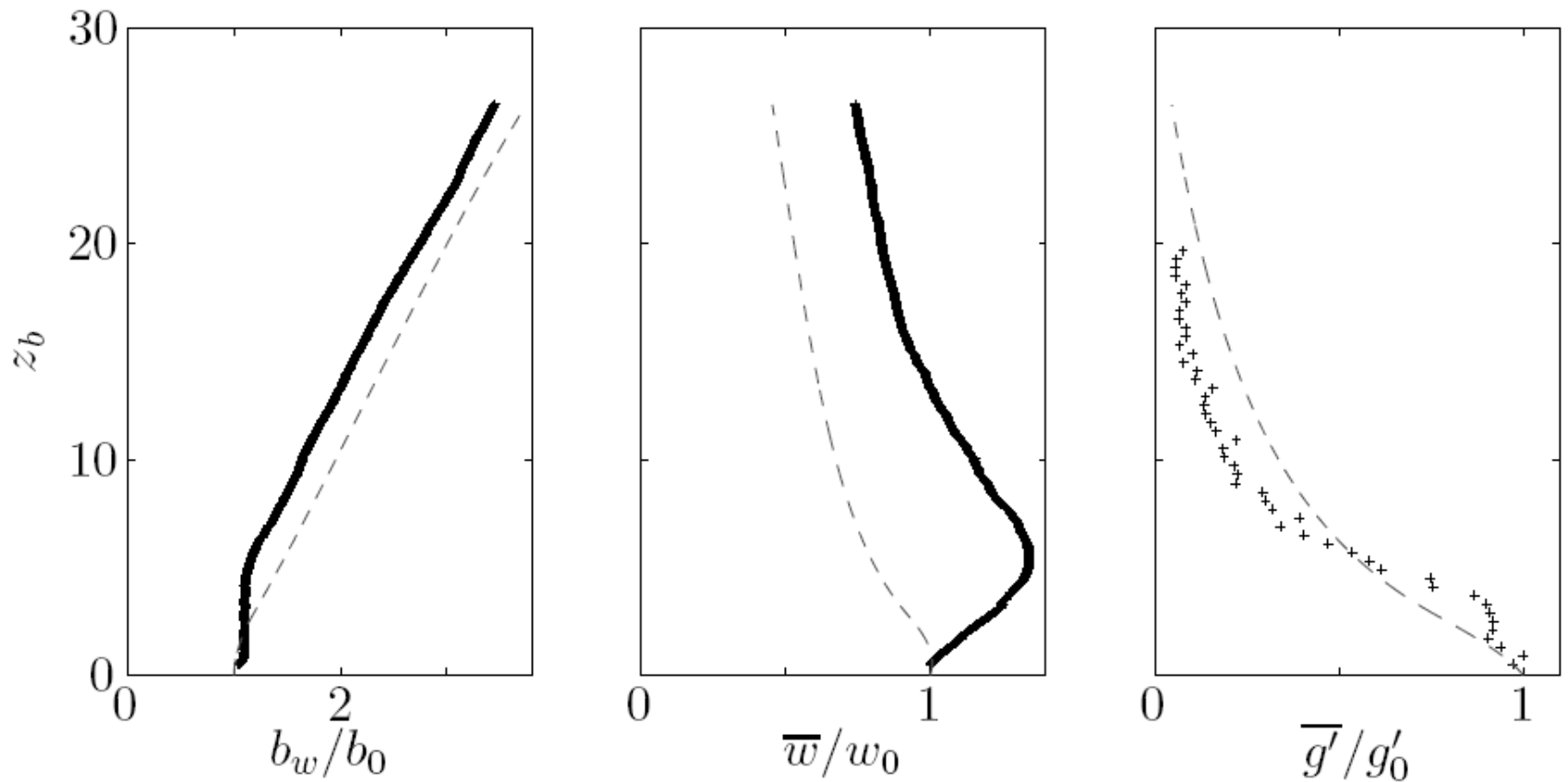
Comparaison avec modèle

Jet



Comparaison avec modèle

Pur



Equations à faible Mach

$$\frac{D}{Dt}(\rho C_v T) = -p \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x_j^2} + \mathcal{D} + S \quad (1)$$

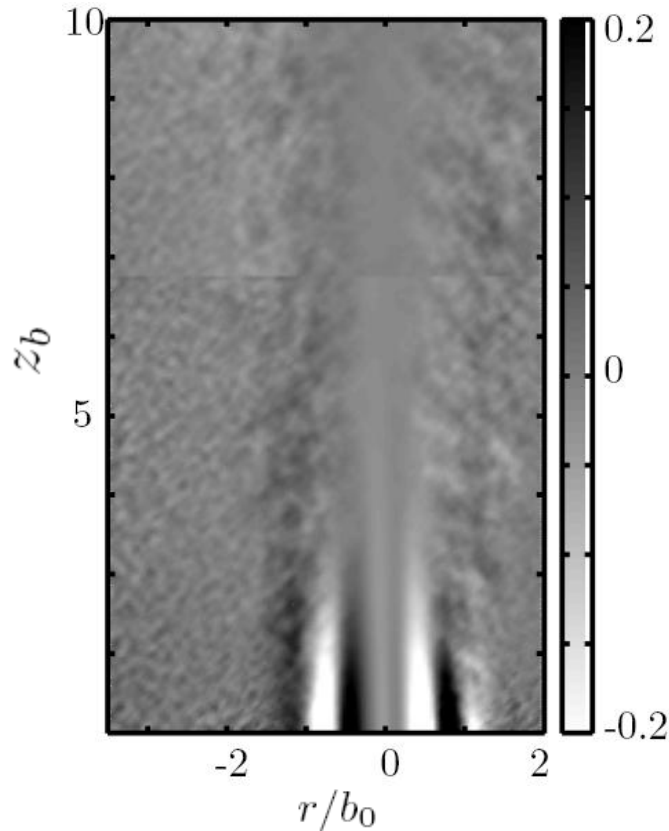
$$\rho T = \text{constant} \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = \frac{1}{p} \left(\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x_j^2} + \mathcal{D} + S \right) \quad (3)$$

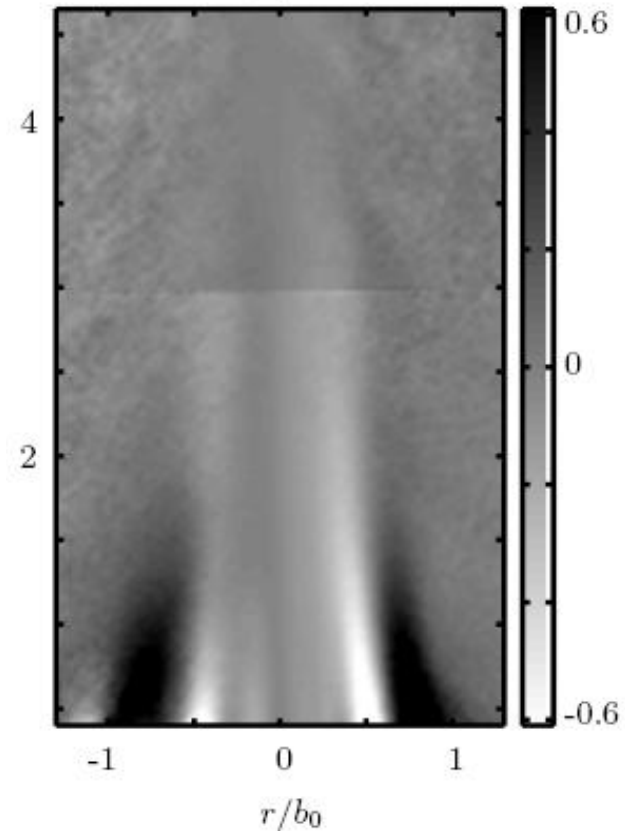
$$\frac{\partial u'_i}{\partial x'_i} = \frac{1}{\mathcal{R} \rho_0} \left(\frac{1}{\text{Pe}} \frac{\partial T'}{\partial x_i'^2} + \frac{T_0 U_0^2}{\text{Re}} \mathcal{D} \right) \quad (4)$$

Divergence du champ de vitesse

Panache forcé



Paresseux



Divergence relativement plus importante dans les panaches paresseux

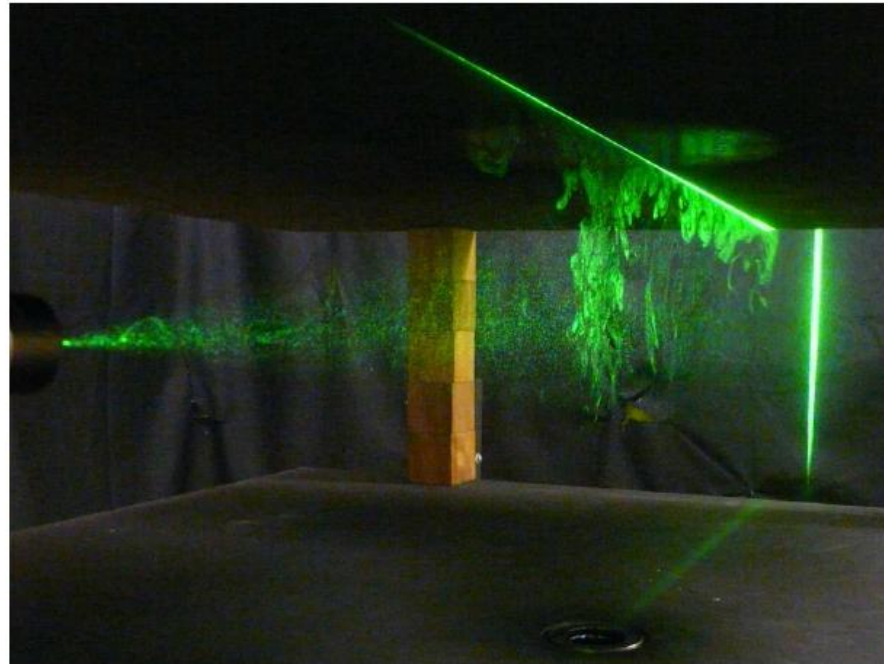
Conclusions

- Auto-similarité achevée dans le panache
- ZFE de l'ordre de $10 b_0$
- Différences de l'étalement des profils de température et de vitesse
- Coefficient d'entraînement mesuré
- Importance de stratification faible

Mesures sur des panaches turbulents



Imperial College
London



Adam Ezzamel, Pietro Salizzoni, Gary Hunt