

Étude d'une dynamique tourbillonnaire par holographie numérique



Journée Hydrodynamique 2014, Val-de-Reuil

Benoit Lebon ^{1,2}
Gaële Perret ¹, **Stanislas Grare** ², **Carole Gobin** ²
Denis Lebrun ², **Jérôme Brossard** ¹

20 novembre 2014

1-Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC)
UMR 6294, CNRS – Université du Havre
benoit.lebon@etu.univ-lehavre.fr

2-Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA)
UMR 6614, CNRS – Université de Rouen



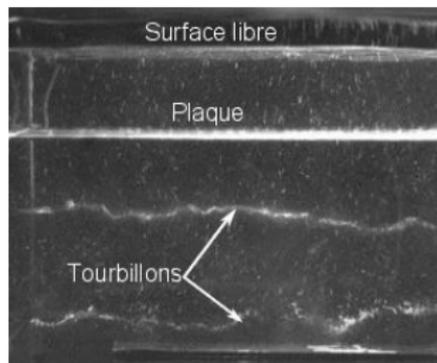
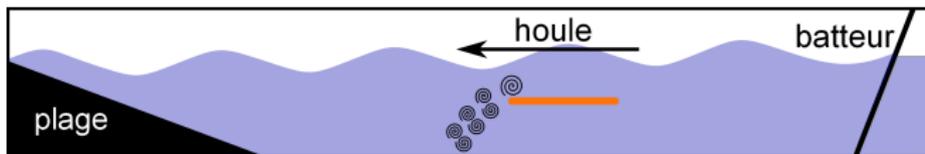
Plan

- ① Positionnement du Problème
- ② L'holographie numérique et le dispositif expérimental
- ③ Acquisition des hologrammes et précision
- ④ Mesures des vitesses axiales et transverses
- ⑤ Mesures proche paroi
- ⑥ Conclusion et Perspectives

Plan

- 1 **Positionnement du Problème**
- 2 L'holographie numérique et le dispositif expérimental
- 3 Acquisition des hologrammes et précision
- 4 Mesures des vitesses axiales et transverses
- 5 Mesures proche paroi
- 6 Conclusion et Perspectives

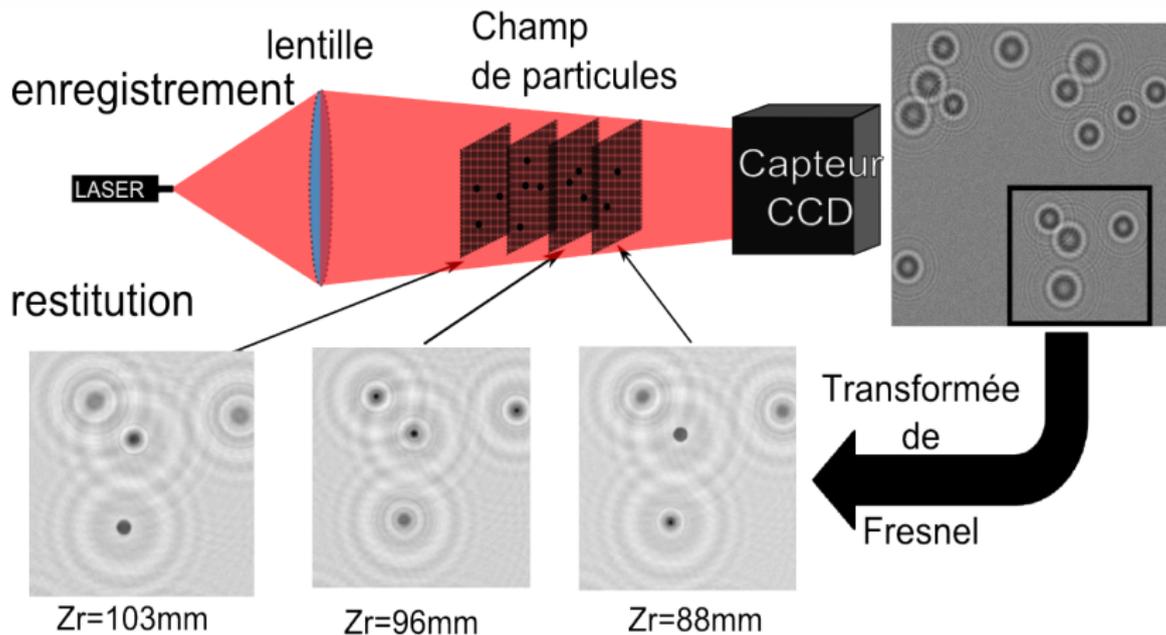
Positionnement du Problème



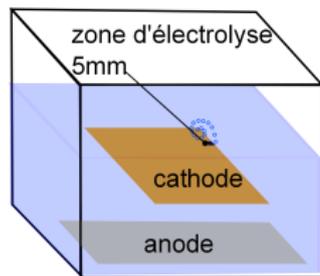
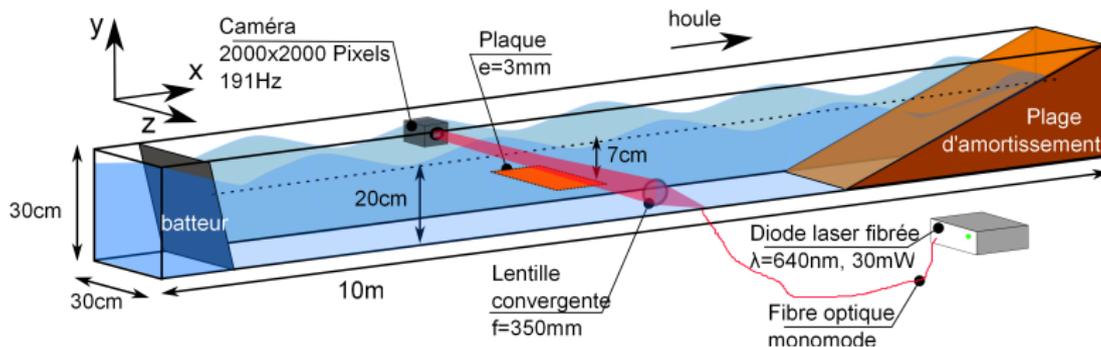
Plan

- 1 Positionnement du Problème
- 2 L'holographie numérique et le dispositif expérimental**
- 3 Acquisition des hologrammes et précision
- 4 Mesures des vitesses axiales et transverses
- 5 Mesures proche paroi
- 6 Conclusion et Perspectives

L'holographie numérique dans l'axe :

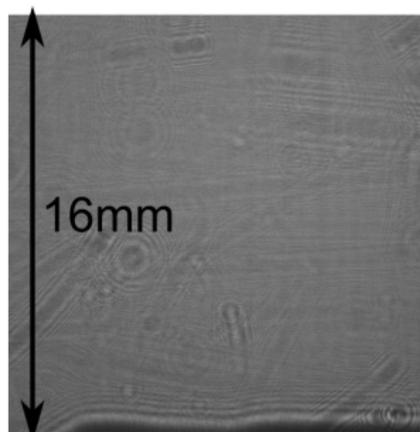


Dispositif expérimental :

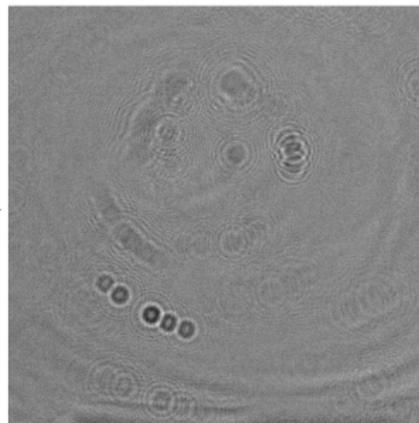


Diamètre moyen : $30 \mu m$
 Bulles/Hologrammes ≈ 100
 Houle régulière
 Période : 1 s
 Amplitude : 1 cm

Exemple d'hologramme :



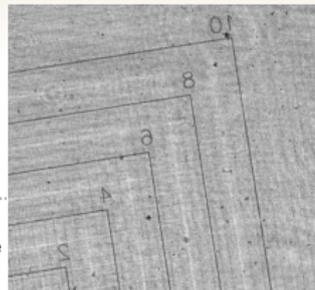
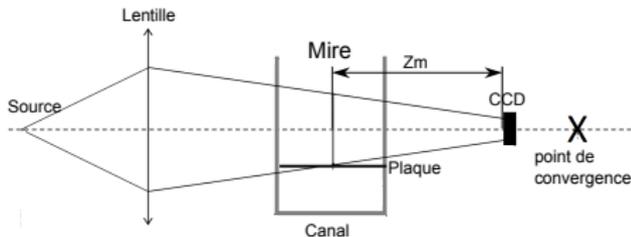
Normalisation



Plan

- 1 Positionnement du Problème
- 2 L'holographie numérique et le dispositif expérimental
- 3 Acquisition des hologrammes et précision**
- 4 Mesures des vitesses axiales et transverses
- 5 Mesures proche paroi
- 6 Conclusion et Perspectives

Étalonnage :

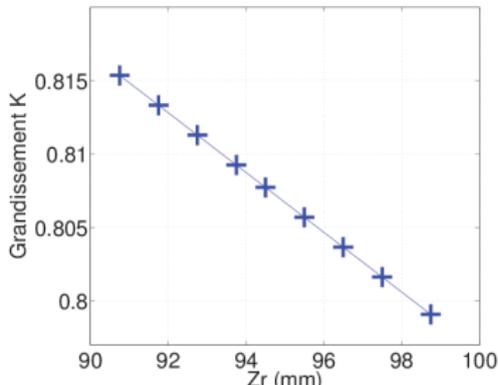
Zoom de la mire restituée à $z_r=99.2\text{mm}$

Correspondance entre distances restituées z_r et mécanique z_m objet/capteur :

$$z_m = \frac{z_r}{K}$$

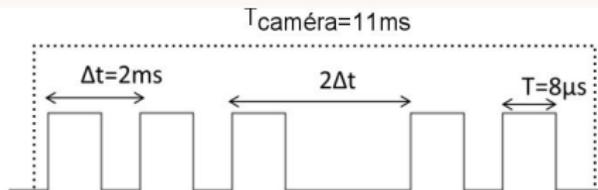
Volume de mesure
 $\approx 1,5 \times 1,5 \times 30\text{cm}$

Evolution du grandissement axial



Enregistrement multi-exposition et localisation 3D des bulles :

Chronogramme

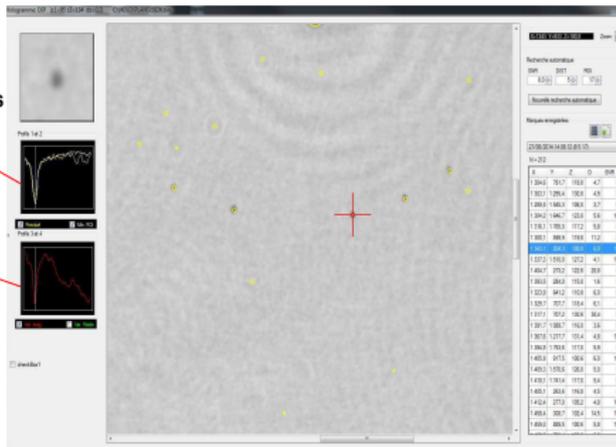


Interface du logiciel HOLO pour la restitution des hologrammes et la localisation 3D des bulles

Mise au point
et
Détection des objets

minimum de
niveau de gris

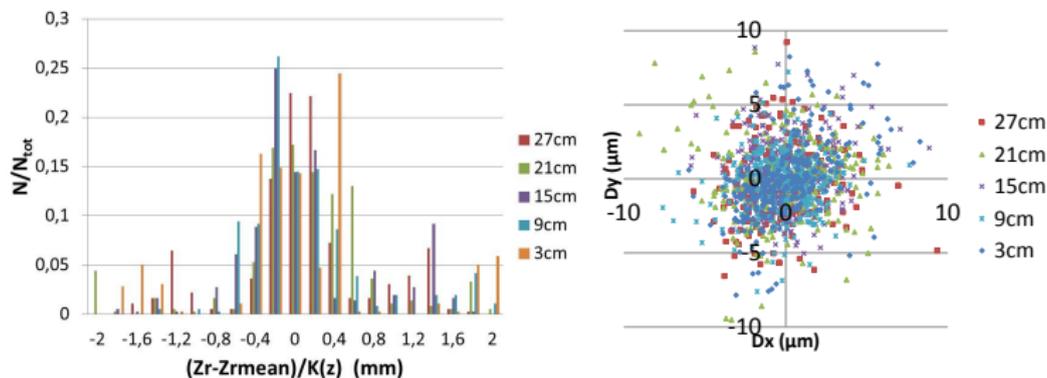
minimum
de variance
de la partie
imaginaire



G. Pan and H. Meng, "Digital holography of particle fields : reconstruction by use of complex amplitude," Appl. Opt. 42, 827-833 (2003).

Fiabilité de la mesure axiale (z) et radiale (x,y) :

Mesures d'un disque de $50\mu\text{m}$ de diamètre à différentes distance z.

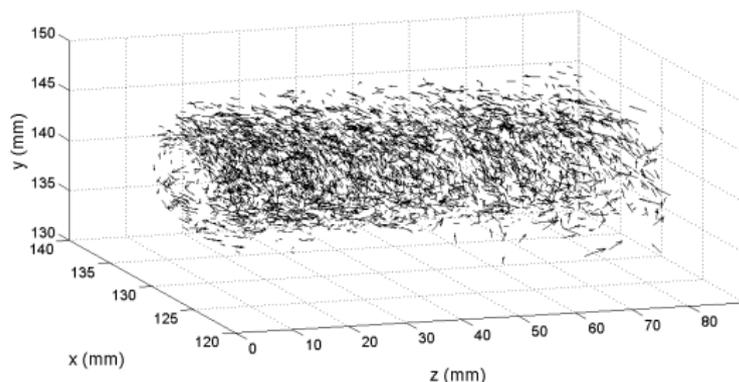


Erreur sur la position en z $\approx 500\mu\text{m}$ et en x ou y $\approx 5\mu\text{m}$.

Trajectographie :

Identification des trajectoires par recherche des plus proches voisins puis propagations en tenant compte du déplacement.

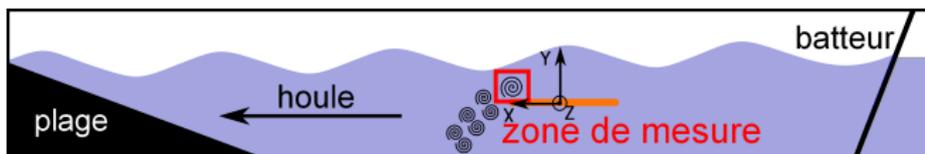
Exemple d'un champ de vecteurs 3D extrait à partir des trajectoires de 500 hologrammes



Plan

- 1 Positionnement du Problème
- 2 L'holographie numérique et le dispositif expérimental
- 3 Acquisition des hologrammes et précision
- 4 Mesures des vitesses axiales et transverses**
- 5 Mesures proche paroi
- 6 Conclusion et Perspectives

Mesure des vitesses

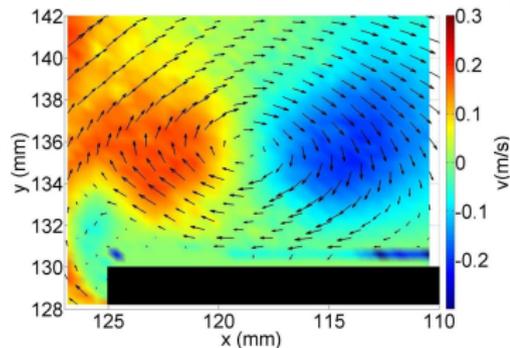
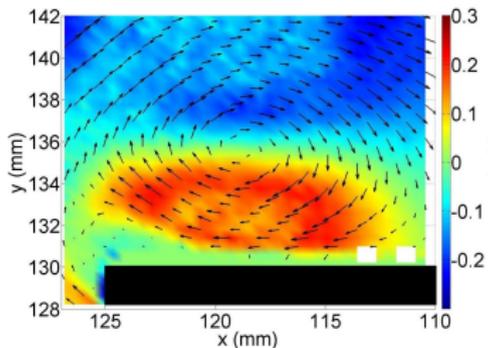


Vitesses transverses (V_x, V_y)

PIV¹

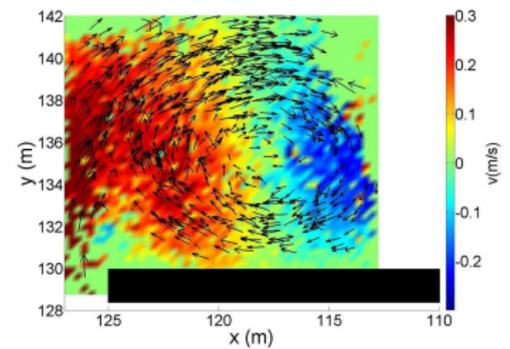
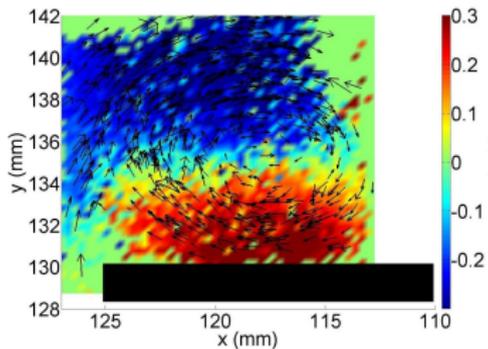
Champ
moyenné sur
300 périodes

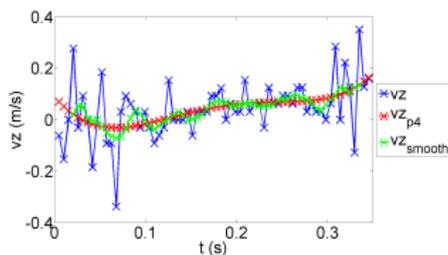
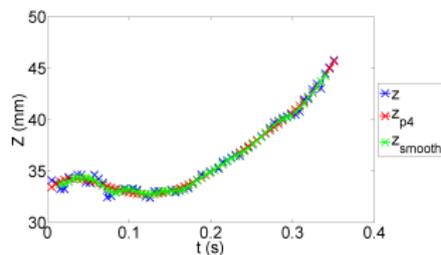
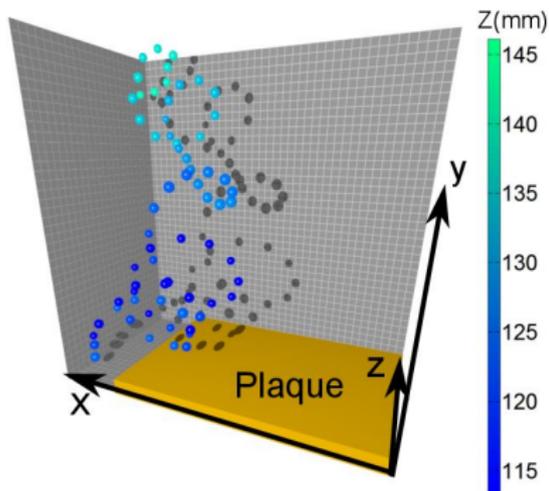
1 : A. Pou-
pardin et al,
(2012)



DIH

Champs
instantanés sur
500 périodes

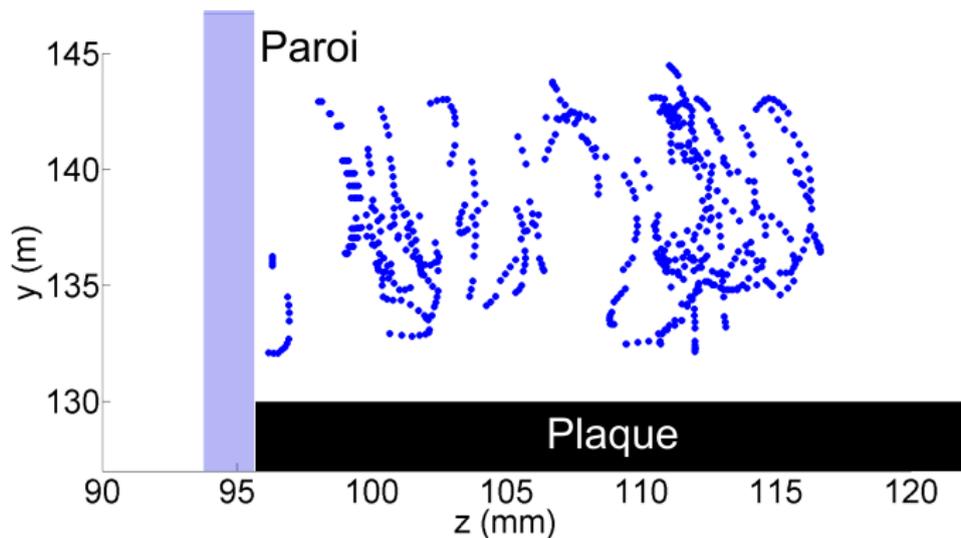


Vitesses axiales V_z 

Plan

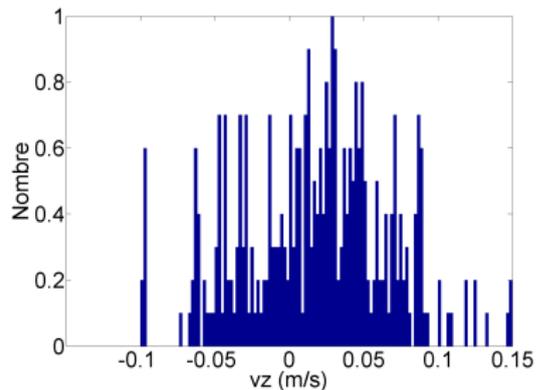
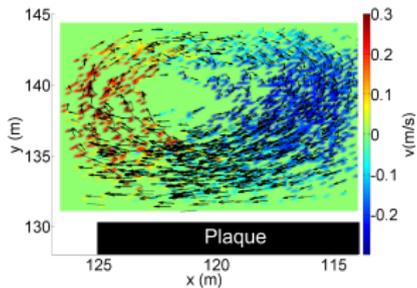
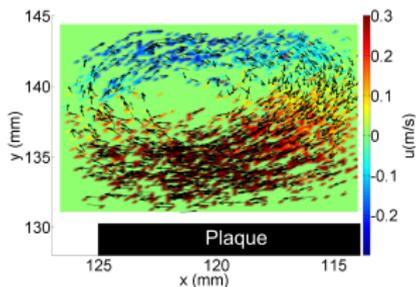
- 1 Positionnement du Problème
- 2 L'holographie numérique et le dispositif expérimental
- 3 Acquisition des hologrammes et précision
- 4 Mesures des vitesses axiales et transverses
- 5 Mesures proche paroi**
- 6 Conclusion et Perspectives

Mesures en proche paroi



Mesures à moins de 1mm de la paroi.

Vitesses en proche paroi



Éclatement tourbillonnaire proche paroi ?

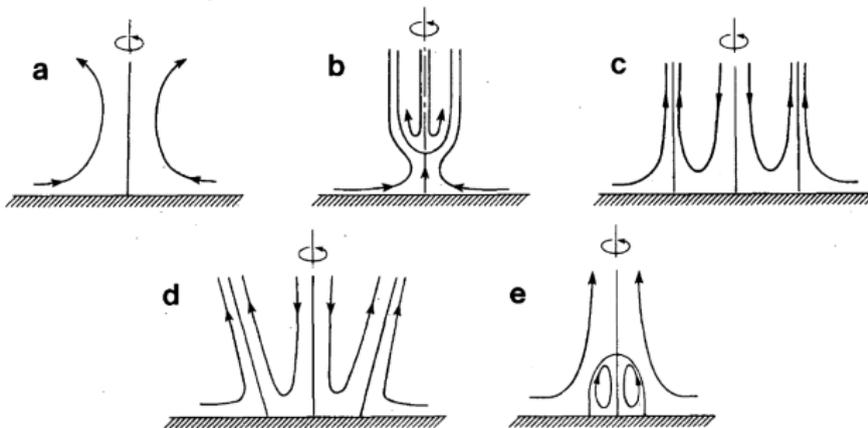


FIG. 2. Sketches of meridional flows of vortices perpendicular to the ground. (a) One-cell vortex at small swirl angle. (b) At a larger swirl angle, vortex breakdown in a two-cell vortex. (c) At still larger swirl angles, two-cell vortex in which the dividing stream surface reaches the ground. (d) Situation of (c) but with an oblique dividing stream surface. (e) Dividing surface which forms a vortex ring.

Lugt, H. J. (1989). "Vortex breakdown in atmospheric columnar vortices". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 70(12), 1526-1537.

Plan

- 1 Positionnement du Problème
- 2 L'holographie numérique et le dispositif expérimental
- 3 Acquisition des hologrammes et précision
- 4 Mesures des vitesses axiales et transverses
- 5 Mesures proche paroi
- 6 Conclusion et Perspectives**

Conclusion

- ▶ Validation de l'utilisation de l'holographie numérique en ligne pour l'étude de filaments tourbillonnaires.
- ▶ Création des outils pour le traitement et l'exploitation des hologrammes.
- ▶ Mesure de la vitesse dans le plan 2D satisfaisantes.
- ▶ Évaluation de trajectoires 3D et quantification du déplacement axial des particules.
- ▶ Mesures proche-paroi

Perspectives

- ▶ Mieux comprendre la répartition de la vitesse axiale V_z
 - Temps d'observation plus long en combinant fréquence d'acquisition avec multi-exposition.
 - Étude d'une autre phase du tourbillon où la vitesse axiale est plus importante.
 - Analyse de la distribution radiale de la vitesse axiale du tourbillon.
- ▶ Étude proche paroi.
- ▶ Mener l'étude 3D de la dynamique tourbillonnaire et comprendre les mécanismes à l'origine de la déstabilisation.

Merci pour votre attention !

Questions ?