

Étude d'une dynamique tourbillonnaire par holographie numérique



Journée Hydrodynamique 2014, Val-de-Reuil

Benoit Lebon^{1,2}
Gaëlle Perret¹, Stanislas Grare², Carole Gobin²
Denis Lebrun², Jérôme Brossard¹

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



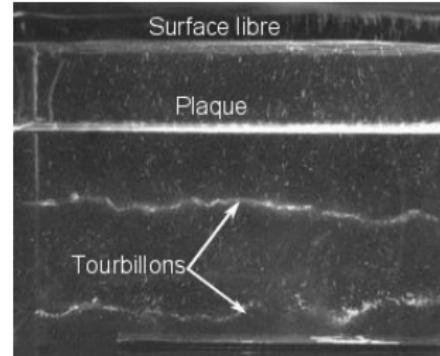
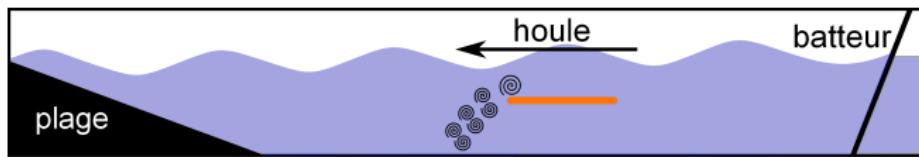
Plan

- 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

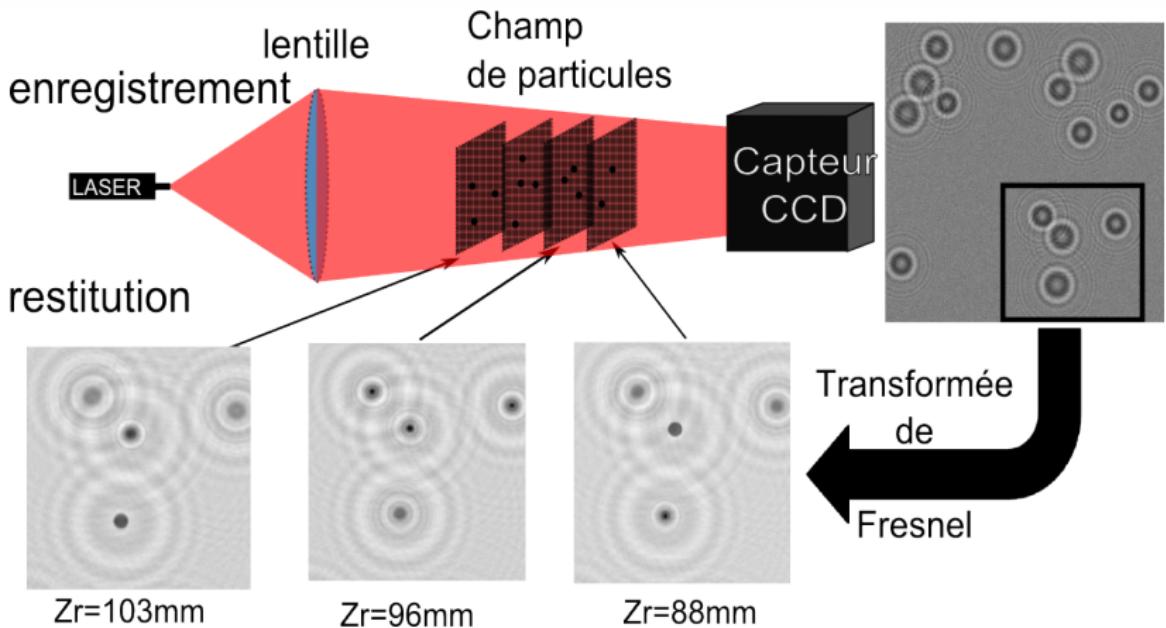
Positionnement du Problème



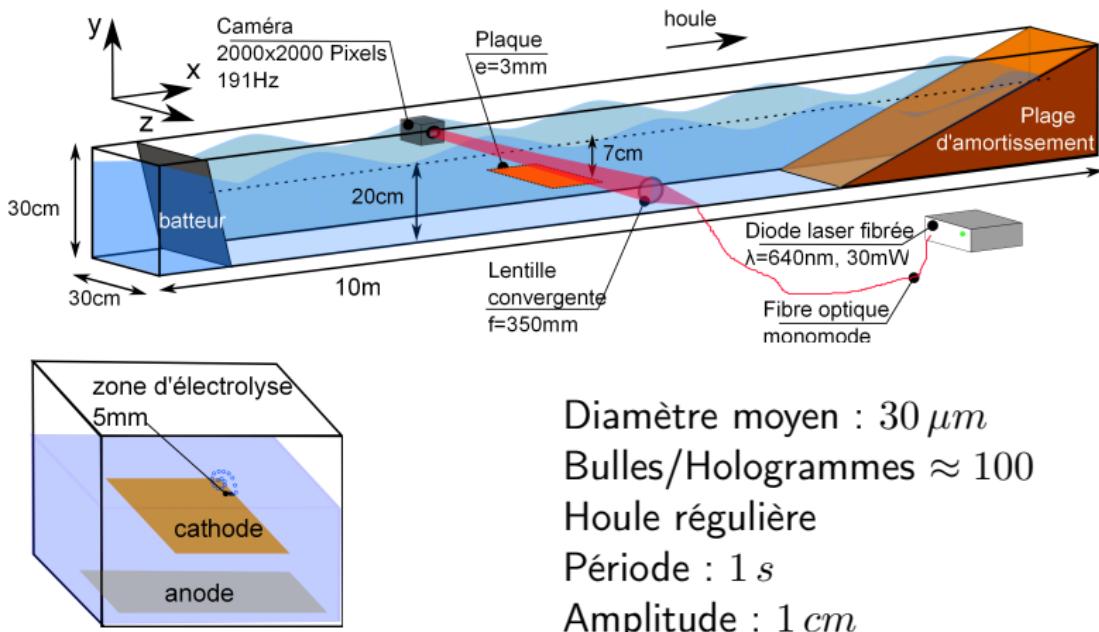
Plan

- 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

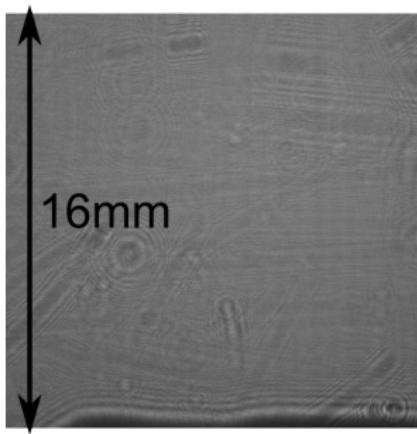
L'holographie numérique dans l'axe :



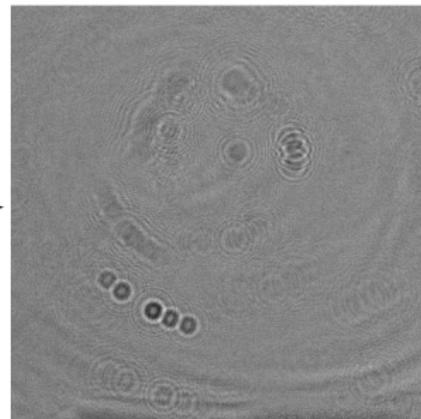
Dispositif expérimental :



Exemple d'hologramme :



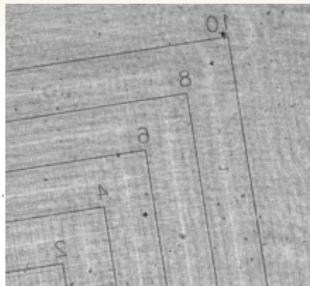
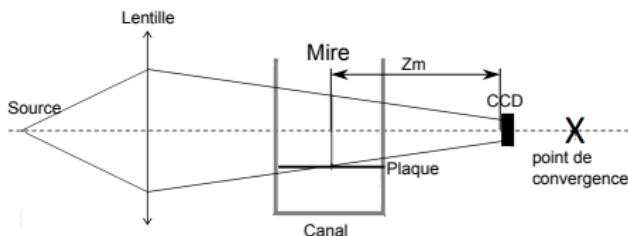
Normalisation



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 :



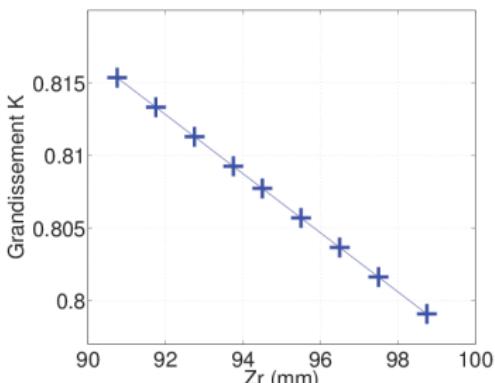
Zoom de la mire restituée à
 $z_r=99.2\text{mm}$

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

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

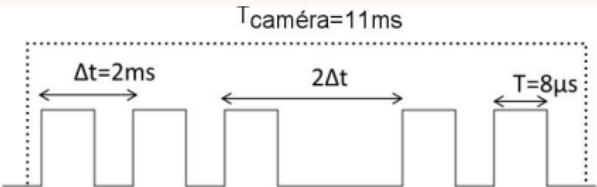
Volume de mesure
 $\approx 1,5 \times 1,5 \times 30\text{cm}$

Evolution du grandissement axial

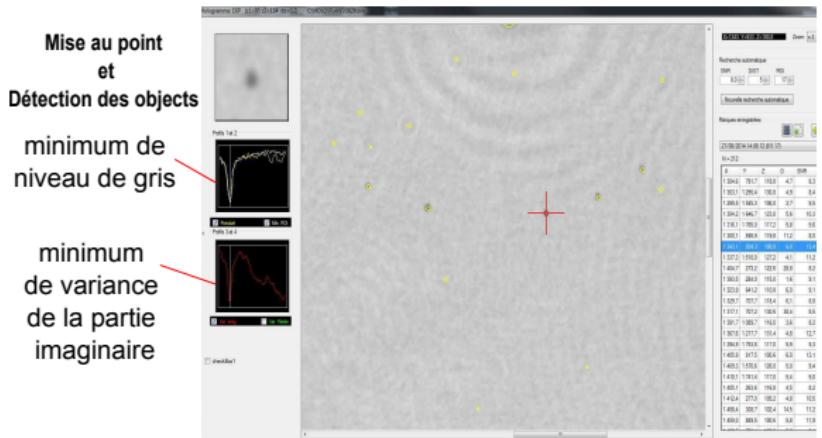


Enregistrement multi-exposition et localisation 3D des bulles :

Chronogramme



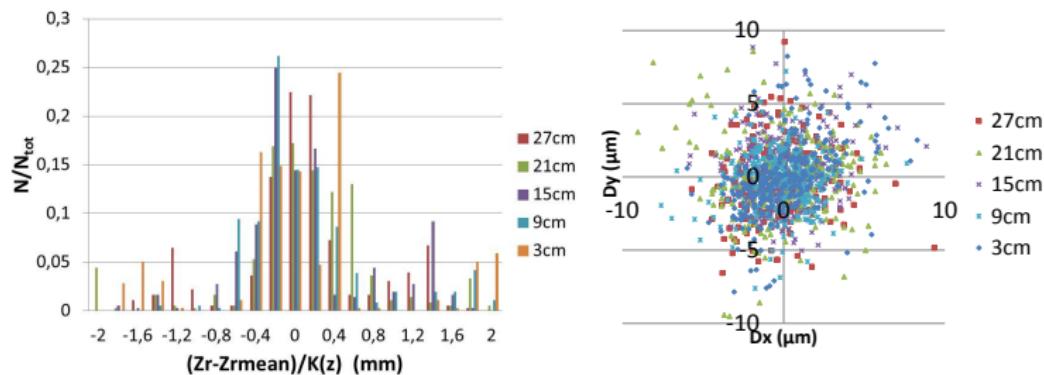
Interface du logiciel HOLO pour la restitution des hologrammes et la localisation 3D des bulles



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.

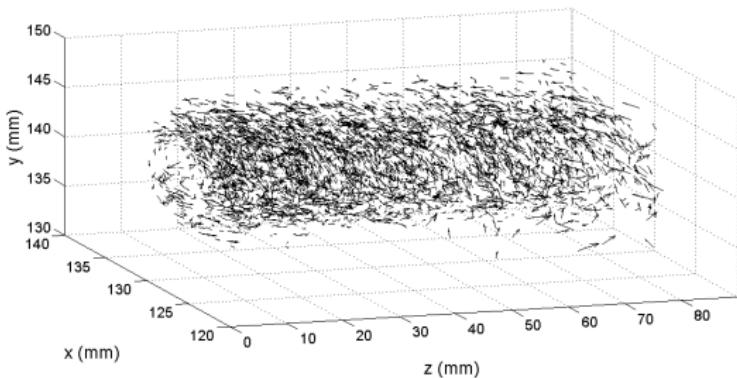


Erreur sur la position en z $\approx 500\mu\text{m}$ et en x ou y $\approx 5\mu\text{m}$.

Trajectographie :

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

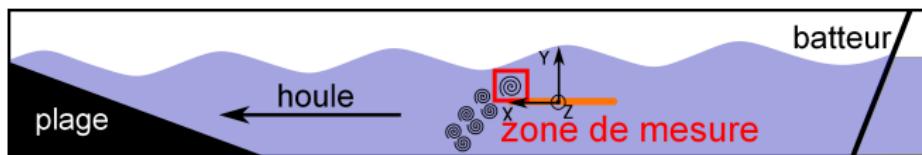
Exemple d'un champ de vecteurs 3D extrait à partir des trajectoires de 500 hologrammes



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

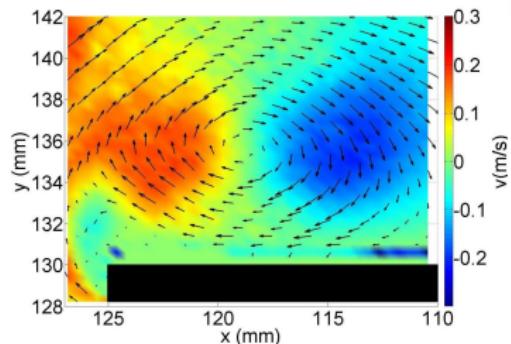
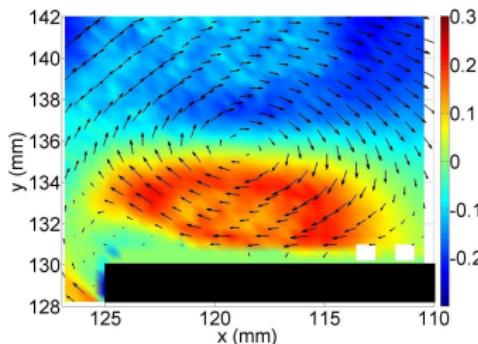


Vitesses transverses (V_x, V_y)

PIV¹

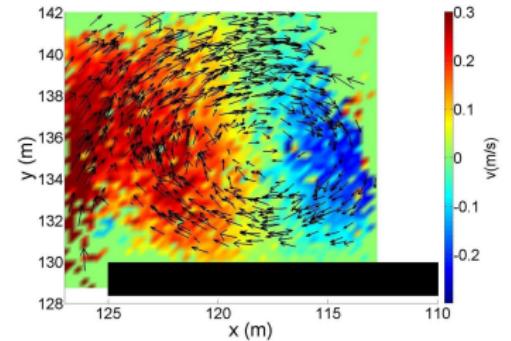
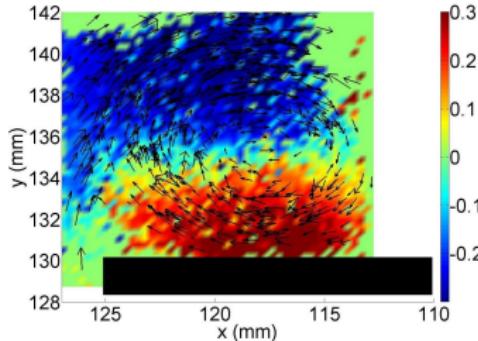
Champ
moyenné sur
300 périodes

1 : A. Pouppardin et al,
(2012)

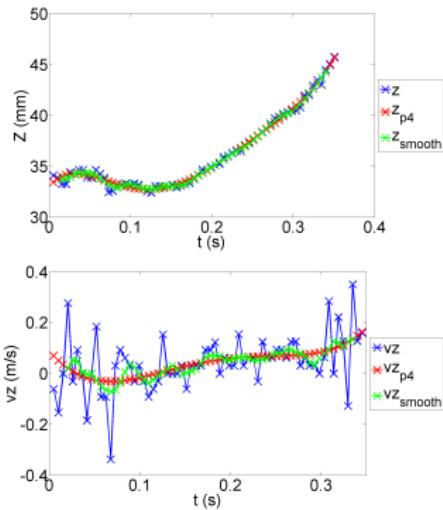
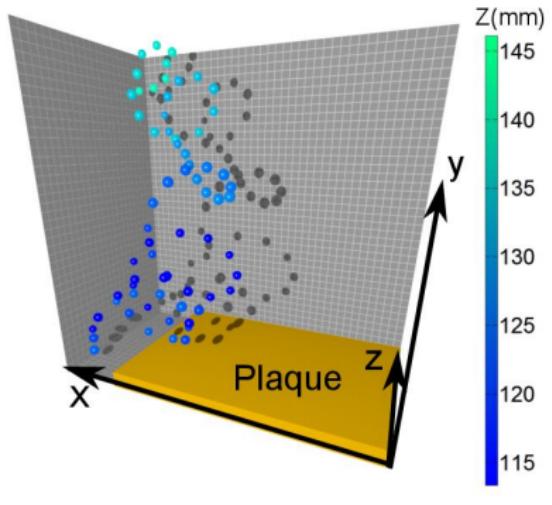


DIH

Champs
instantanés sur
500 périodes



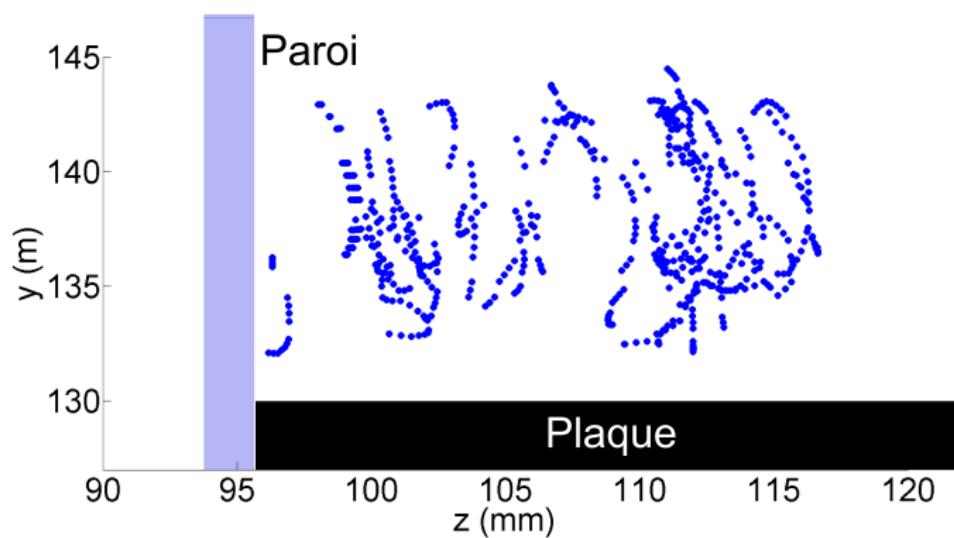
Vitesses axiales V_z



Plan

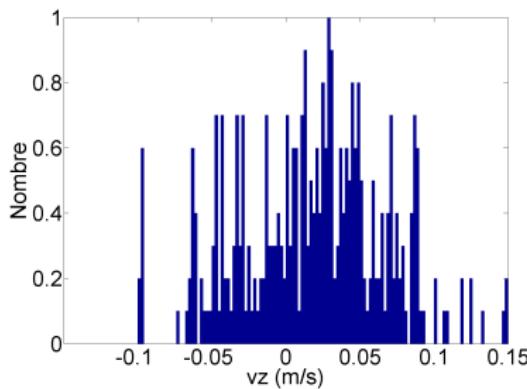
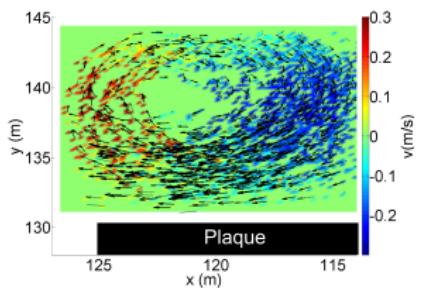
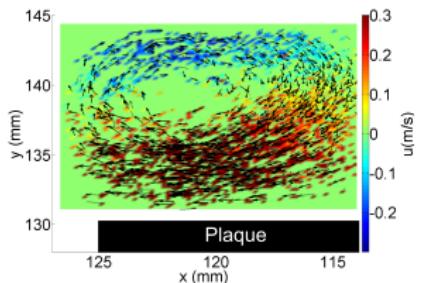
- ① Positionnement du Problème
- ② L'holographie numérique et le dispositif expérimental
- ③ Acquisition des hologrammes et précision
- ④ Mesures des vitesses axiales et transverses
- ⑤ Mesures proche paroi
- ⑥ Conclusion et Perspectives

Mesures en proche paroi



Mesures à moins de 1mm de la paroi.

Vitesses en proche paroi



Éclatement tourbillonnaire proche paroi?

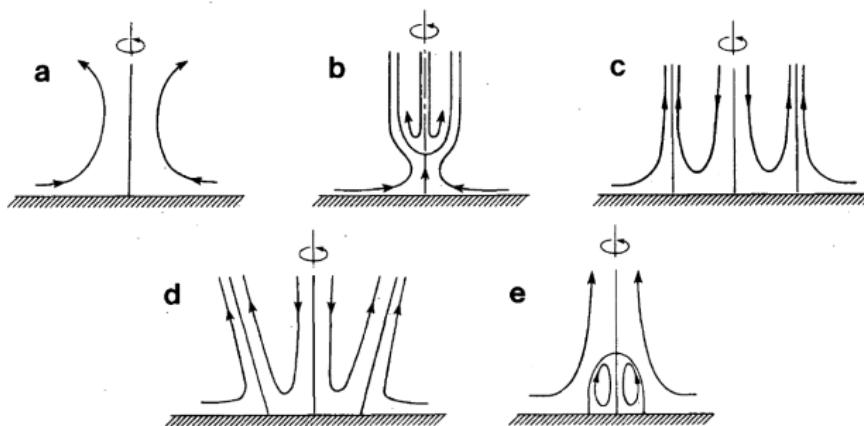


FIG. 2. Sketches of meridional flows of vortices perpendicular to the ground. (a) One-cell vortex at small swirl angle. (b) At a larger swirl angle, vortex breakdown in a two-cell vortex. (c) At still larger swirl angles, two-cell vortex in which the dividing stream surface reaches the ground. (d) Situation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