



**HAL**  
open science

## Instabilité du sillage d'un cylindre court aux bouts libres

Michel Provansal, Claire Souilliez, Lionel Schouveiler

► **To cite this version:**

Michel Provansal, Claire Souilliez, Lionel Schouveiler. Instabilité du sillage d'un cylindre court aux bouts libres. 17e Congrès Français de Mécanique, 2005, Troyes, France. pp.1-6. hal-04277754

**HAL Id: hal-04277754**

**<https://hal.science/hal-04277754>**

Submitted on 9 Nov 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Instabilité du sillage d'un cylindre court aux bouts libres

Michel Provansal, Claire Souilliez, Lionel Schouveiler

Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre, UMR CNRS 6594, Aix-Marseille Universités,  
Technopôle de Château-Gombert 13384 Marseille Cedex 13 France ;  
michel.provansal@irphe.univ-mrs.fr

## Résumé :

*L'objet de ce papier est l'analyse de la transition du sillage d'une sphère à celui d'un cylindre en modifiant la longueur d'un cylindre court aux bouts libres. Les deux paramètres de contrôle de ce problème sont le nombre de Reynolds et le rapport d'aspect. Les valeurs critiques des seuils d'instabilité ont été déterminées pour le cas de la sphère (rapport d'aspect égal à un) et pour des cylindres de rapport d'aspect allant jusqu'à cinq. Les lignes d'émission obtenues dans les visualisations des cylindres courts ont permis de mettre en évidence les symétries caractéristiques des lignes de vortex pour la configuration de la sphère. Pour la première fois, ces expériences complètent la description des doubles allées de vortex obtenues par simulation numérique.*

## Abstract :

*By changing the aspect ratio of a free-ends short cylinder, we can analyze the transition from the wake of a sphere to the wake of a cylinder. This problem depends on both the aspect-ratio and the Reynolds number. The critical values of the threshold of the unsteady wake have been investigated. The different symmetries of the wake have been exhibited and partly clarified thank visualizations in a water channel.*

## Mots clefs :

**sillages instationnaires ; visualisations ; géométries sphérique et cylindrique.**

## 1 Introduction

Les sillages d'une sphère solide et immobile et d'un cylindre fini sans bouts sont des écoulements de référence en mécanique des fluides, susceptibles de nombreuses applications. Ils ont fait l'objet d'un grand nombre d'études généralement distinctes suivant la forme de l'obstacle [1],[2],[3]. Le caractère tridimensionnel de ces écoulements nécessite une description détaillée de leur structure spatiale. Nous nous proposons en travaillant sur une sphère isolée, puis sur un cylindre court à bouts hémisphériques et libres de rechercher s'il y a une continuité entre le sillage d'une sphère et celui d'un cylindre. Aux nombres de Reynolds inférieurs à 210, le sillage d'une sphère est axisymétrique et présente une zone de recirculation sous forme d'un anneau de vorticité. A  $Re = 210$ , cette configuration devient instable et le sillage perd sa symétrie axiale pour laisser apparaître deux filaments contrarotatifs de vorticité. Des visualisations ont montré clairement cette brisure de symétrie pour cette structure stationnaire, dont la prédiction théorique a été faite par Natarajan et Acrivos [4]. En augmentant le nombre de Reynolds au delà d'une valeur critique de l'ordre de 280, le sillage d'une sphère devient instationnaire [5],[6],[7]. Au contraire, pour un cylindre infini, le sillage devient instationnaire pour un nombre de Reynolds voisin de 47 pour lequel la symétrie dans la direction transverse est également brisée. Ainsi le cas de la sphère est caractérisé par deux changements successifs conduisant à un écoulement périodique tandis que pour un cylindre infini ou d'envergure finie avec plaques de bouts , une seule transition permet de passer à un état périodique. En conséquence, notre étude a été faite pour des nombres de Reynolds compris entre 50 et 350. Des simulations numériques récentes [1] ont également abordé ce problème en modifiant la forme d'une sphère trouée en son centre jusqu'à obtenir

un anneau torique. Les informations apportées dans cet articles sont relatives aux mesures des nombres de Reynolds critiques aux seuils d'instabilité périodique et aux fréquences de déversement des vortex lorsqu'on fait varier le rapport d'aspect  $L/D$  entre un et cinq. Enfin, des visualisations plus complètes des zones où la vorticité n'est pas nulle ont été réalisées afin de confronter les résultats des simulations numériques aux expériences.

## 2 Dispositif expérimental

Les deux paramètres de contrôle de l'écoulement sont le nombre de Reynolds,  $Re = Ud/\nu$ , fondé sur le diamètre du cylindre, la vitesse amont et la viscosité cinématique  $\nu$  et le rapport d'allongement  $L/d$ . Les mesures ont été réalisées en soufflerie dans une veine d'essai de section carrée de 25 cm de dimension pour des cylindres de 1 cm de diamètre et de longueurs différentes. Le taux de turbulence amont est de 0,5 % ; les mesures de la vitesse amont et des fluctuations de vitesse périodiques à l'aval de l'obstacle sont obtenues par anémométrie laser D  ppler (LDV) puis traitées par un analyseur de spectre. Des visualisations ont également été faites sur des cylindres de diamètre 5 mm et de rapport d'aspect variable de manière discrète entre 1 et 5 dans un canal d'eau horizontal à surface libre, dont les dimensions sont de 2m x 0,6m x 0,5 m. Un étalonnage préalable a montré que les profils de vitesse  $y$  sont uniformes sur plus de 90 % des directions transverses horizontale et verticale lorsque la vitesse varie de 0,5 cm/s    0,5 m/s avec un taux de turbulence de l'ordre de un pour cent (ce qui est la valeur typique des incertitudes par mesure LDV dans le canal). La sphère et les cylindres utilisés sont tenus en leur milieu par une mince tige métallique de 1 mm de diamètre placée en amont (figure 1). L'orientation de cette tige par rapport à l'écoulement amont permet de contrôler la direction des filaments de vortex lorsque le nombre de Reynolds est entre 210 et 280 ainsi que l'ont montré des travaux antérieurs [5],[6]. Certaines visualisations ont été obtenues en injectant de la fluorescéine par la tige de fixation à travers un trou de 1 mm de diamètre percé à l'aval du cylindre et en illuminant le sillage par une tranche laser bleue dans le plan vertical perpendiculaire au cylindre ou dans un plan horizontal contenant l'axe du cylindre. La nappe laser bleue plus ou moins focalisée est créée par un laser Spectra Physics et une fibre optique Fibrex (puissance  $P = 0,3$  à  $1,5$  watt pour  $\lambda = 0,488 \mu\text{m}$ ) : elle éclaire le sillage depuis l'aval afin d'obtenir une vue suivant l'envergure du cylindre ou perpendiculaire à son axe.

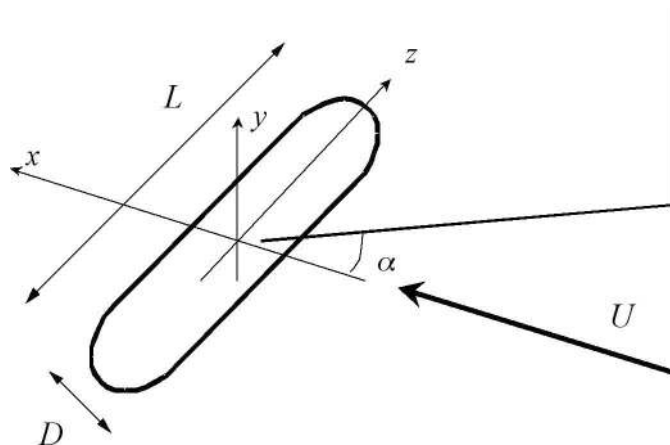


FIG. 1 – Schéma montrant la façon dont sont tenus les cylindres dans la soufflerie et dans le canal à eau

## 3 Résultats

### 3.1 Seuils d'instabilité

La figure 2 montre la variation du nombre de Reynolds critique au seuil d'instabilité avec le rapport d'aspect. La ligne en pointillé rappelle les mesures obtenues pour des cylindres de même rapport d'aspect compris entre deux plaques de bouts perpendiculaires. Le confinement lié au passage d'un cylindre à une sphère se traduit par une augmentation du nombre de Reynolds critique. Pour un même rapport d'aspect, la présence de plaques de bouts stabilise ou retarde le seuil d'instabilité.

FIG. 2 –Variation du nombre de Reynolds au seuil d’instabilité avec le rapport d’aspect  $L/D$  pour des cylindres à bouts hémisphériques libres de rapport d’aspect compris entre 5 et 1 (sphère).

### 3.2 Fréquence de déversement des vortex

Nous avons également mesuré les fréquences de déversement des vortex par analyse spectrale des fluctuations des vitesses longitudinale ou transverse. Leurs variations sont reportées sur les figures 3 et 4 où nous avons utilisé le temps de diffusion  $D^2/\nu$  ou celui d’advection  $D/U$  pour construire les nombres sans dimension correspondants. Les mesures des fréquences exhibent une continuité apparente entre le cas de la sphère et celui des cylindres.

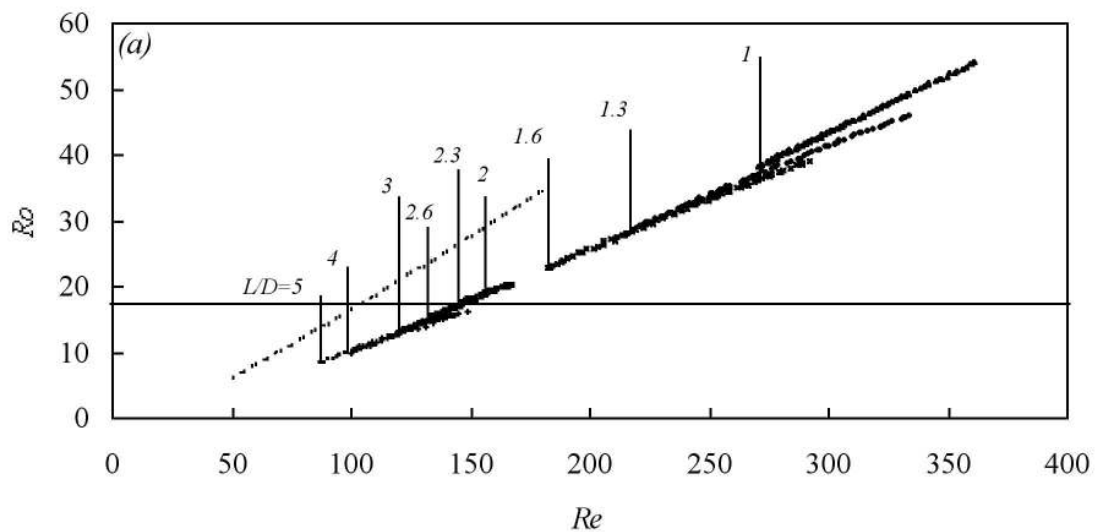


FIG. 3 –Variation de la fréquence adimensionnée ou nombre de Roshko  $fD^2/\nu$  avec le nombre de Reynolds pour des cylindres à bouts hémisphériques libres de rapport d’aspect compris entre 5 et 1 (sphère).

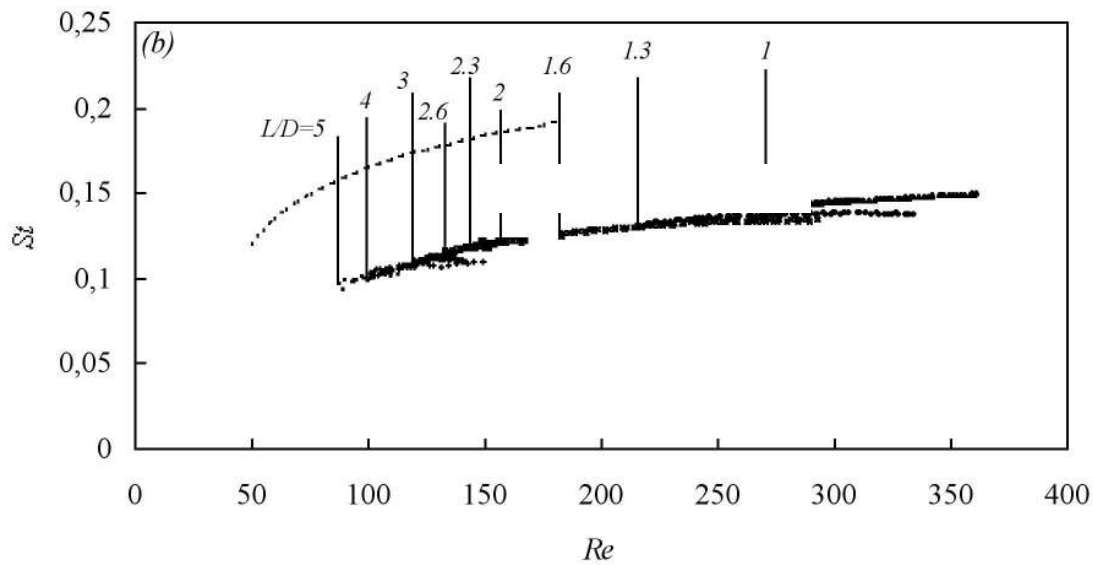


FIG. 4

–Variation du nombre de Strouhal  $St = fD/U$  avec le nombre de Reynolds pour des cylindres à bouts hémisphériques libres de rapport d'aspect compris entre 5 et 1 (sphère).

Les lignes en pointillé la plus à droite de chacune de ces figures rappellent la variation de la « courbe universelle » de fréquence de déversement obtenue pour des cylindres de très grand rapport d'aspect lorsque le déversement est parallèle et contrôlé par des conditions de bouts soigneusement sélectionnées.

### 3.3 Formes des boucles de vortex

Nous appelons  $O_x$  la direction de l'écoulement,  $O_y$  la direction transverse et  $O_z$  la direction transverse qui est l'axe des cylindres, l'origine  $O$  étant prise au milieu du cylindre. Sur la figure 5, une vue obtenue suivant dans le plan  $xOz$  montre que les vortex ont la forme de boucles de lasso s'appuyant sur les bords du cylindre. Afin d'obtenir une visualisation des vortex sur l'ensemble de l'envergure on a peint le cylindre avec de la fluorescéine mélangée à un fixateur puis on a laissé sécher l'ensemble. Pour une coupe  $xOy$  perpendiculaire au cylindre, la structure du sillage est analogue à celle de la double allée de Bénard- von Karman pour des cylindres de rapport d'aspect 2, 3, 4 et 5. Pour la géométrie de la sphère, des études récentes ont montré que les lignes de colorant observées [8],[9] ne correspondent pas aux champs de vorticité [3]. Sur les visualisations réalisées par injection de colorant, on ne voit que la moitié des structures de vortex et, à notre connaissance, la visualisation des doubles enchaînements de vortex déduits des simulations numériques n'a pas encore été réalisée. L'intérêt de la figure 5 résident ainsi dans le fait que les deux séries de boucles sont bien visibles dans les deux allées alternées. Pour des cylindres de rapports d'aspect 4, 3 et 2, les mêmes structures en formes de boucles ont été observées mais nous n'avons pas réussi à obtenir une vue de la double allée ou double enchaînement de vortex dans le cas de la sphère. Pour le cylindre de rapport d'aspect 2, en changeant légèrement la position ou l'orientation de la pipette d'injection du colorant ou de tenue du cylindre, on a pu stabiliser des modes où les boucles de vortex se formaient suivant l'envergure ou au contraire sur la direction perpendiculaire. Nous présenterons au congrès quelques films permettant de compléter cette description.

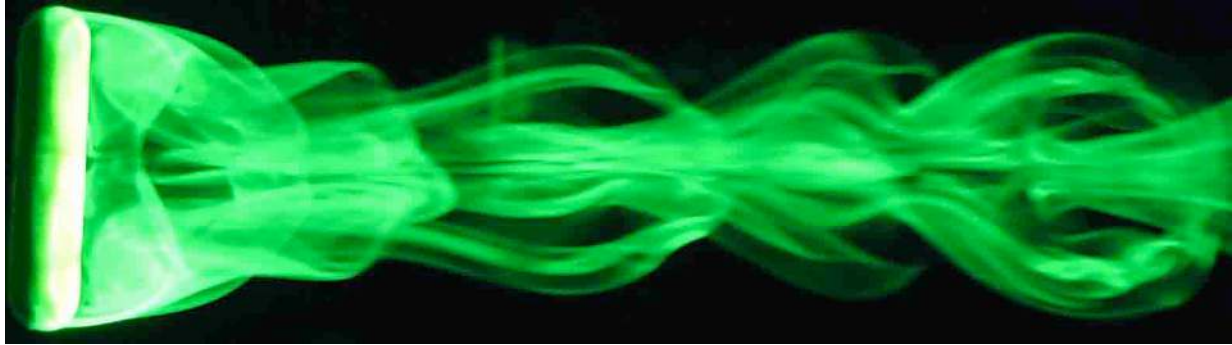


FIG. 5– Vue de dessus xOz du sillage d'un cylindre de rapport d'aspect 5.

#### 4 Conclusion

Les sillages de sphères et de cylindres courts à bouts libres et hémisphériques ont des caractéristiques voisines. Ils diffèrent notablement de ce qui est observé pour un cylindre infini avec déversement parallèle. Au delà des visualisations et des mesures par anémométrie laser, il serait particulièrement intéressant d'obtenir les champs de vitesse et de vorticité par P.I.V. afin de les comparer plus facilement aux simulations tridimensionnelles présentées par d'autres équipes sur des obstacles identiques [10].

Remerciements :

Nous remercions J.Minelli et l'équipe de l'atelier de fabrication mécanique d'I.R.P..H.E. pour leur aide précieuse dans la réalisation des obstacles et de leurs supports mécaniques placés dans la soufflerie ou dans le canal hydraulique. Nous avons bénéficié de discussions sur ces sujets avec K. Hourrigan, M.Thompson (Monash University, Australie) et avec T. Leweke.

#### Références

- [1] G.J.Sheard, M.C.Thompson, K.Hourigan, From spheres to circular cylinders wakes, *J. Fluid Mech.*,492, 147-180, 2003.
- [2] M.Provansal, L.Schouveiler , T.Leweke, From the double vortex street behind a cylinder to the wake of a sphere, *Eur. J. Mech. B-Fluid*, 23 (1), 65-80, 2004.
- [3] T. A. Johnson et V. C. Patel, Flow past a sphere up to a Reynolds number of 300, *J. Fluid Mech.*, vol. 378, pp. 19-70, (1999).
- [4] R. Natarajan et A. Acrivos, The instability of the steady flow past spheres and disks, *J. Fluid Mech.*, vol. 254, pp. 323-344 (1993).
- [5] B.Ghidessa, J.Dusek, Breaking of axisymmetry and onset of unsteadiness in the wake of a sphere, *J. Fluid Mech.*, 423, 33-69, 2000.

[6] T.Leweke, D.Ormières, M.Provansal, L.Schouveiler : Visualisations des vortex déversés dans le sillage d'une ou de deux sphères. In 8<sup>o</sup> Colloque de Visualisation et de Traitement d'Images en Mécanique des Fluides (ed. P. Hébrard), p. 183, ENSICA, Toulouse, France, 1999.

[7] M.Provansal, D.Ormières , Etude expérimentale de l'instabilité du sillage d'une sphère, C. R. Acad. Sci. Paris, tome 326, Série II b, pp. 489-494,1998.

[8] D.Ormières, M.Provansal, Transition to Turbulence in the Wake of a Sphere. Physical Review Letters, Vol 83, N° 1, p 80-83,5 july 1999.

[9] M.Provansal, T.Leweke, D.Ormières, M.Lebescond, Vortex Dynamics in the Wake of a Sphere . Physics of Fluids, vol 11, N°9, S12 ,1999.

[10] G.J.Sheard, M.C.Thompson, K.Hourigan , Flow past a cylinder with free hemispherical ends comments on grid independence and wake symmetry characteristics, 15th Australasian Fluid Mechanics Conference, Sydney, 13-17 December 2004.