

# Couche de cisaillement et temps longs dans un écoulement de von Kàrmàn

Suite à ma thèse j'ai effectué un premier **stage post-doctoral** de huit mois à l'Université de Navarre en **Espagne**. J'ai mené mes recherches aux côtés de Javier Burguete. Il s'agit d'une étude expérimentale dans un écoulement dit de von Kàrmàn. Un fluide est confiné dans une cuve cylindrique de diamètre  $D$  et mis en mouvement par deux disques contra-rotatifs distants d'une longueur  $H$  (voir figures 1 et 2). Ceux-ci sont munis de pales, la forme de celles-ci permettant de fixer le rapport entre les composantes poloïdale (axiale et radiale) et toroïdale (orthoradiale ou équatoriale) de l'écoulement. Deux cellules de fluide contra-rotatives apparaissent alors. Un tel écoulement peut par exemple aider à comprendre certaines dynamiques lentes des courants océaniques. Dans notre cas, une brisure de symétrie peut apparaître si la vitesse des propulseurs est très stable dans le temps et identique (écarts et fluctuations inférieurs à 1%). Ainsi la couche de cisaillement, qui correspond à la zone où les deux cellules de fluides sont en contact, ne se trouve pas à équidistance des propulseurs mais plus proche de l'un ou de l'autre. Des inversions spontanées d'un état vers l'autre sont observées [1], rétablissant la symétrie globale du système. J'ai cherché dans ce contexte à **caractériser** la position de la couche de cisaillement en fonction de **différents paramètres** de l'expérience, notamment le nombre de Reynolds, le rapport d'aspect  $\Gamma = H/D$  et l'inertie des propulseurs. Cette caractérisation a été effectuée en utilisant la Vélocimétrie par Laser Doppler (LDV). L'inertie des propulseurs ainsi que leur vitesse de rotation ne semblent pas influencer sur la position de la couche de cisaillement dans les gammes explorées.

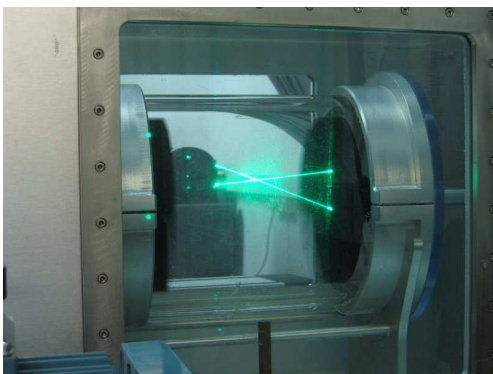


FIGURE 1 – Photographie de la cellule. On distingue les rayons laser du dispositif de LDV.

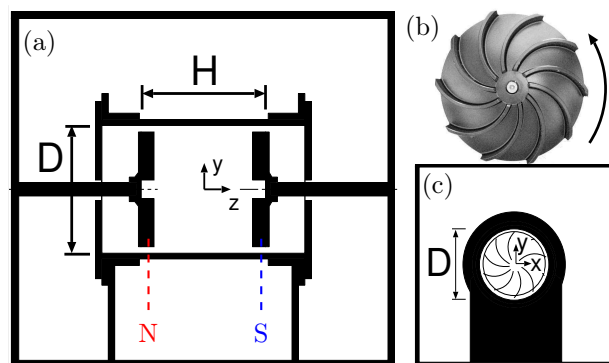


FIGURE 2 – (a,c) Schéma de la cellule de von Kàrmàn vue de côtés (les propulseurs sont désignés par N et S). (b) Photographie d'un propulseur vu de face.

La variation du rapport d'aspect  $\Gamma$  a en revanche révélé une forte sensibilité du système à ce paramètre. La figure 3 montre des séries temporelles de vitesse équatoriale obtenues à équidistance des propulseurs et à 2 cm du cylindre extérieur pour différents rapports d'aspect. On observe que pour  $\Gamma = 0.5$  la vitesse moyenne est nulle avec des fluctuations dues à la turbulence. Pour  $\Gamma = 1.025$  deux états apparaissent avec une vitesse moyenne spécifique positive ou négative. Des inversions brutales et spontanées sont visibles. Enfin pour  $\Gamma = 1.2$  la vitesse moyenne n'est pas nulle et de larges fluctuations sont observées ; la symétrie de l'écoulement est alors brisée. Afin de caractériser plus finement ces comportements j'ai introduit une légère différence de vitesse de rotation des propulseurs. On définit cette dissymétrie par  $\Delta = (f_N - f_S)/(f_N + f_S)$  où  $f_N$  et  $f_S$  représentent les fréquences de rotation des deux propulseurs respectivement. La figure 4 représente la variation de la vitesse équatoriale moyenne en fonction de  $\Delta$  pour différents rapports d'aspect. On observe qu'à partir de  $\Gamma = 1$  la variation de  $\langle v_{eq} \rangle$  devient brutale lorsque  $\Delta$  change de signe. Cela explique la brisure de symétrie observée sur la figure 3.

Pour tenter de comprendre les **phénomènes physiques** qui entrent en jeu à la fois dans la brisure de symétrie mais aussi dans les inversions spontanées, deux pistes ont été explorées. Des

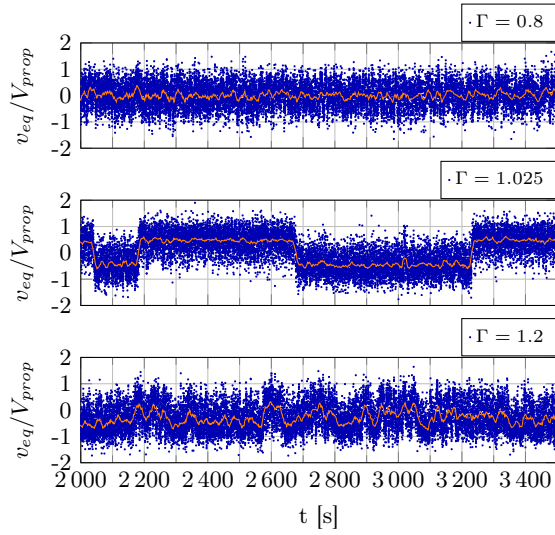


FIGURE 3 – Séries temporelles de vitesse équatoriale  $v_{eq}$  normalisée par la vitesse des propulseurs  $V_{prop}$  au centre de la cellule pour trois différents rapports d’aspect.

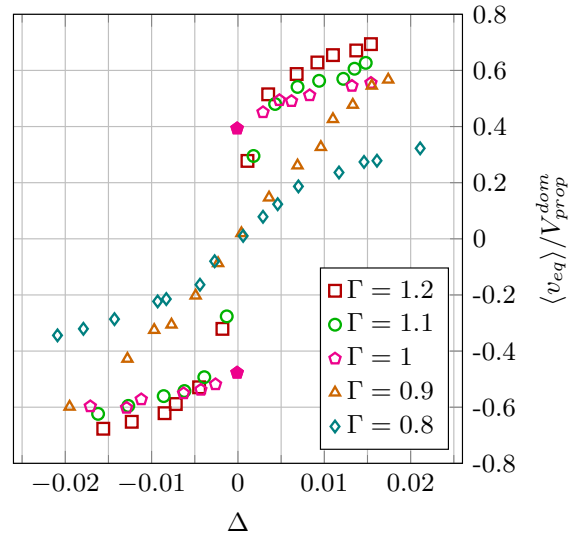


FIGURE 4 – Variation de la vitesse équatoriale moyenne normalisée par la vitesse du propulseur dominant en fonction de  $\Delta$ .

mesures de la structure globale de l’écoulement ont mis en évidence une évolution du rapport entre les composantes poloïdale et toroïdale en lien avec l’apparition de la brisure de symétrie. De plus des **simulations numériques** basées sur une équation de Langevin ont permis de relier les inversions spontanées à l’extension spatiale relative des fluctuations turbulentes dans la cellule. L’ensemble de ces résultats a été **publié** dans *Physical Review E* [2].

## Références

- [1] A. de la Torre and J. Burguete, *Physical Review Letters* **99** (2007), 10.1103/PhysRevLett.99.054101.
- [2] O. Liot and J. Burguete, *Physical Review E* **95**, 013101 (2017).