

Congrès 150 ans Société Française de Physique – 3 au 7 juillet 2023 – Paris

# La spirale turbulente révèle la complexité des équations de Navier-Stokes

A.VIALLEFONT, A. PRIGENT, G.LEMOULT

Université du Havre-Normandie, 25 rue P. Lebon, Le Havre, France

## Introduction

Dans l'écoulement de Couette-Taylor, l'écoulement produit entre deux cylindres coaxiaux en rotation, la transition vers la turbulence peut être accompagnée de régimes de coexistence laminaire-turbulente qui peuvent prendre la forme de spots ou de d'hélices de turbulence présents dans un écoulement par ailleurs laminaire. Ces régimes sont étudiés depuis leur découverte dans les années soixante [1-3]. Et, dès 1963, Richard Feynman les prenait en exemple dans son cours pour illustrer que « la complexité des choses peut si facilement et dramatiquement échapper à la simplicité des équations qui les décrivent » [4]. Bien que reproduits dans des simulations numériques directes depuis 2009 [5-6], les mécanismes détaillés qui causent l'apparition et entretiennent les spots et les bandes restent encore inconnus.

Récemment, il a été démontré qu'à leur seuil d'apparition ces régimes de coexistence laminaire-turbulente montrent de l'universalité et que leur dynamique collective obéit à de simples règles [7].

Dans cette communication, nous nous intéressons donc à ces régimes de coexistence laminaire-turbulente dans l'écoulement de Taylor-Couette. Nous présentons de nouvelles données expérimentales sur l'organisation de l'écoulement obtenues dans un rhéomètre double-axes avec une géométrie de Couette ayant un rapport d'aspect  $\Gamma=30$  et un rapport des rayons  $\eta=0,95$ . Nous présentons des visualisations de l'écoulement couplées à des mesures du couple.

## Les différents régimes de coexistence

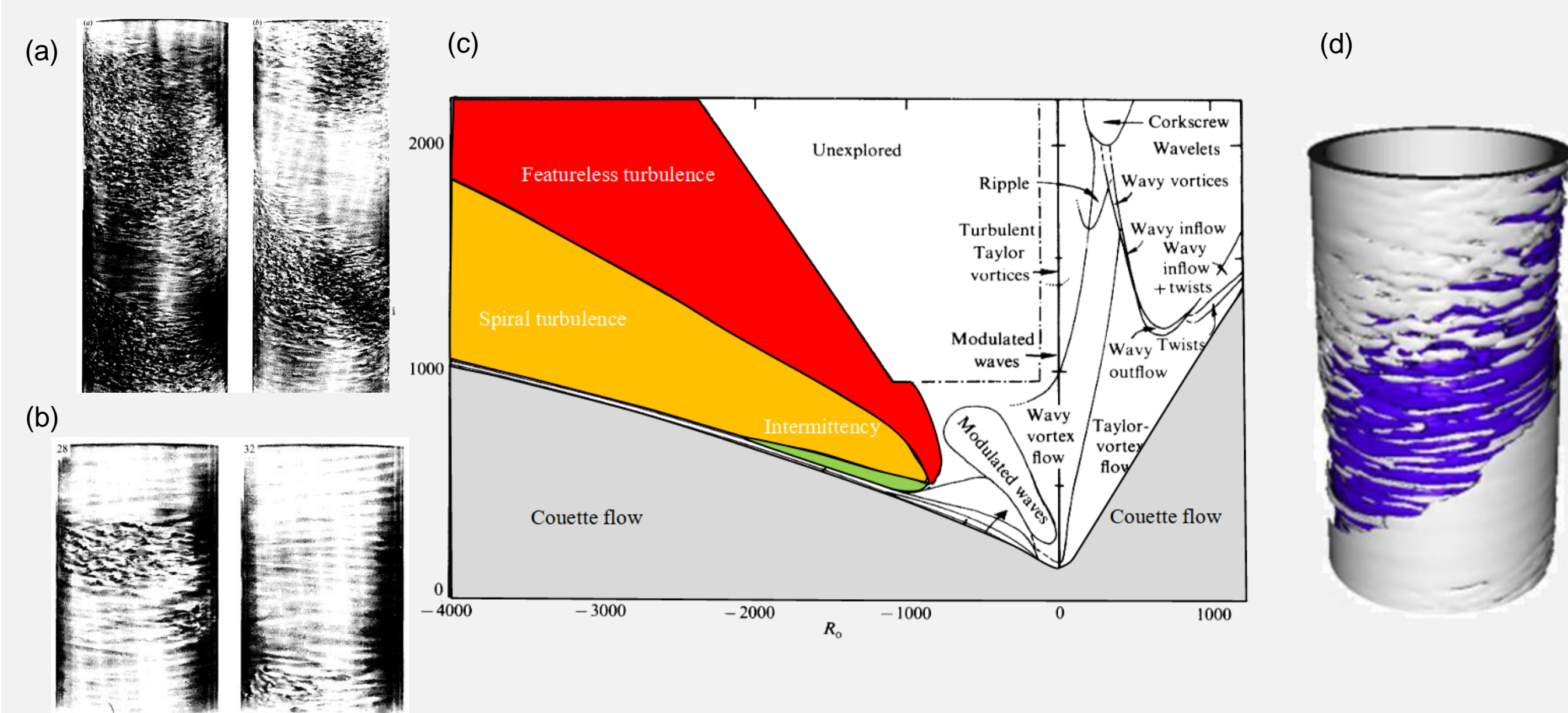
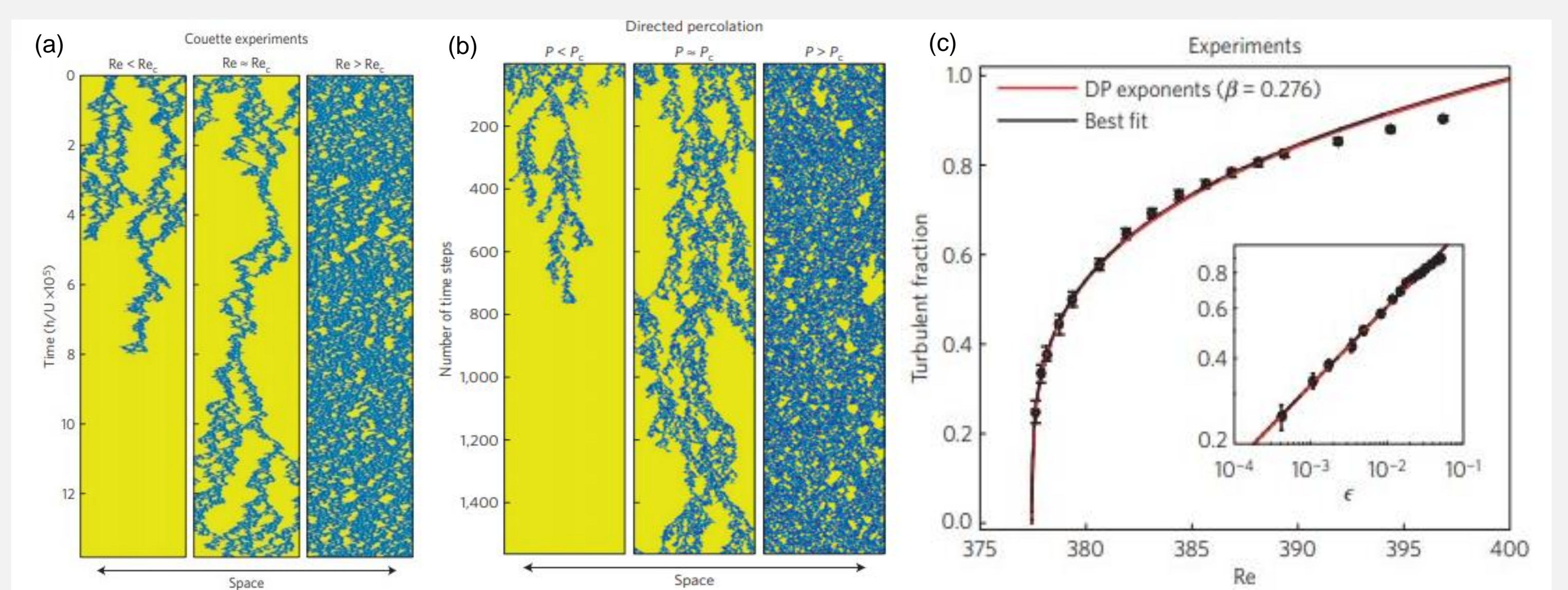


Diagramme de bifurcation [2](c). Photographies des régimes Intermittence Spatio-Temporelle (STI)(b) et Spirale Turbulente (SPT)(a). Image du régime SPT obtenue par DNS [5] (d).

## Propriétés statistiques des régimes de coexistence

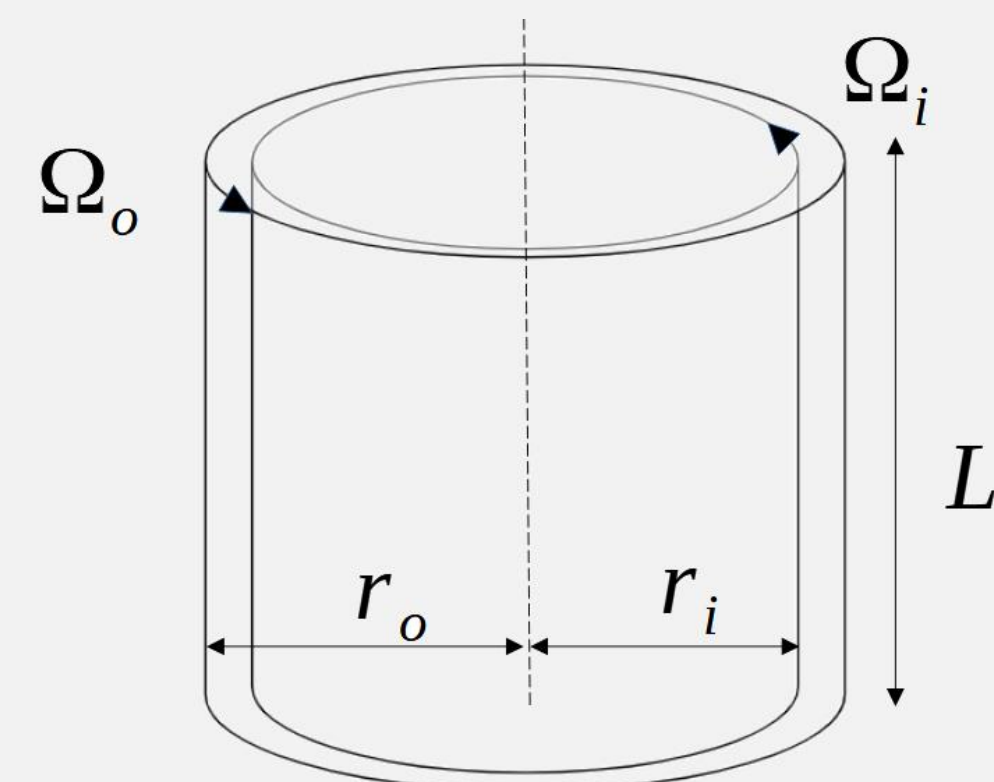


Diagrammes spatio-temporels du régime STI dans l'écoulement de Taylor-Couette (a) et de la percolation dirigée (b) [7]. Fraction turbulente en fonction du nombre de Reynolds  $Re$  (c) [7].

## Notre Système

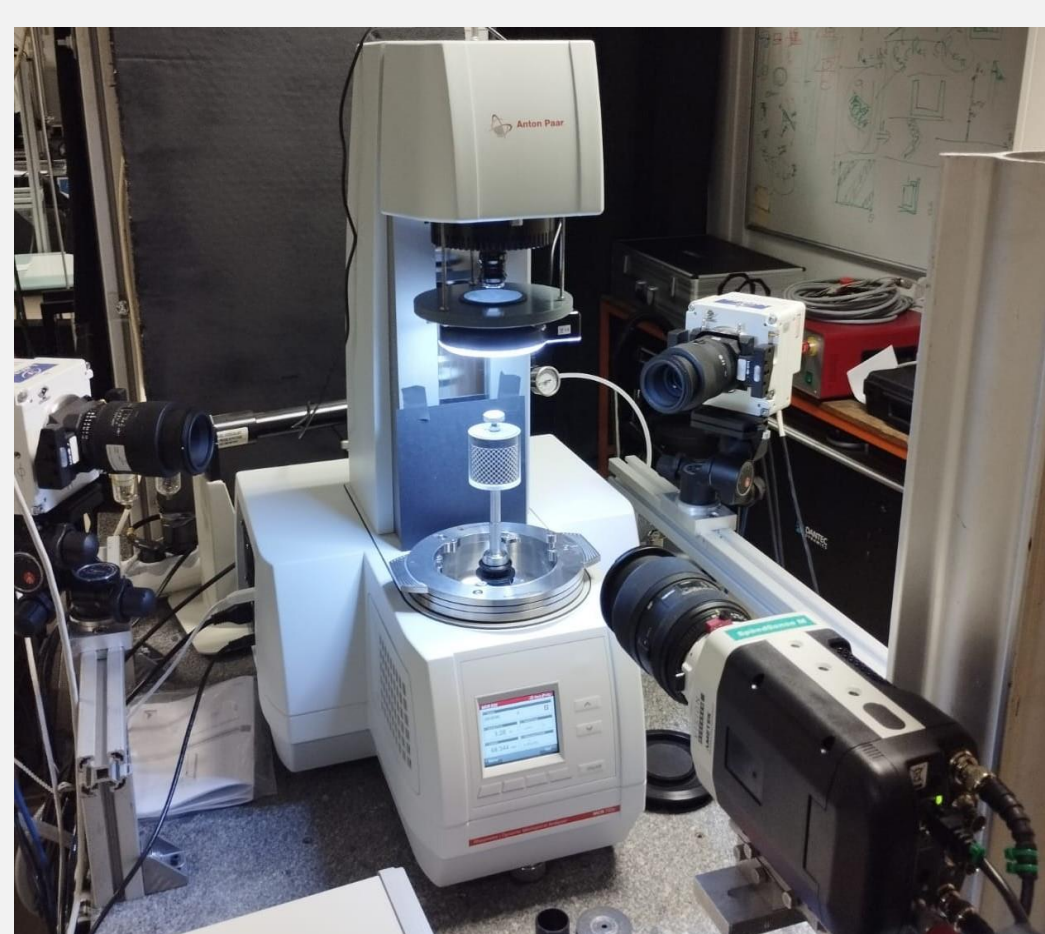
Paramètres géométriques :

- Rapport des rayons :  $\eta = r_i/r_o = 0.95$
- Rapport d'aspect :  $\Gamma = L/d = 30$
- Taille du gap :  $d = r_o - r_i = 3$

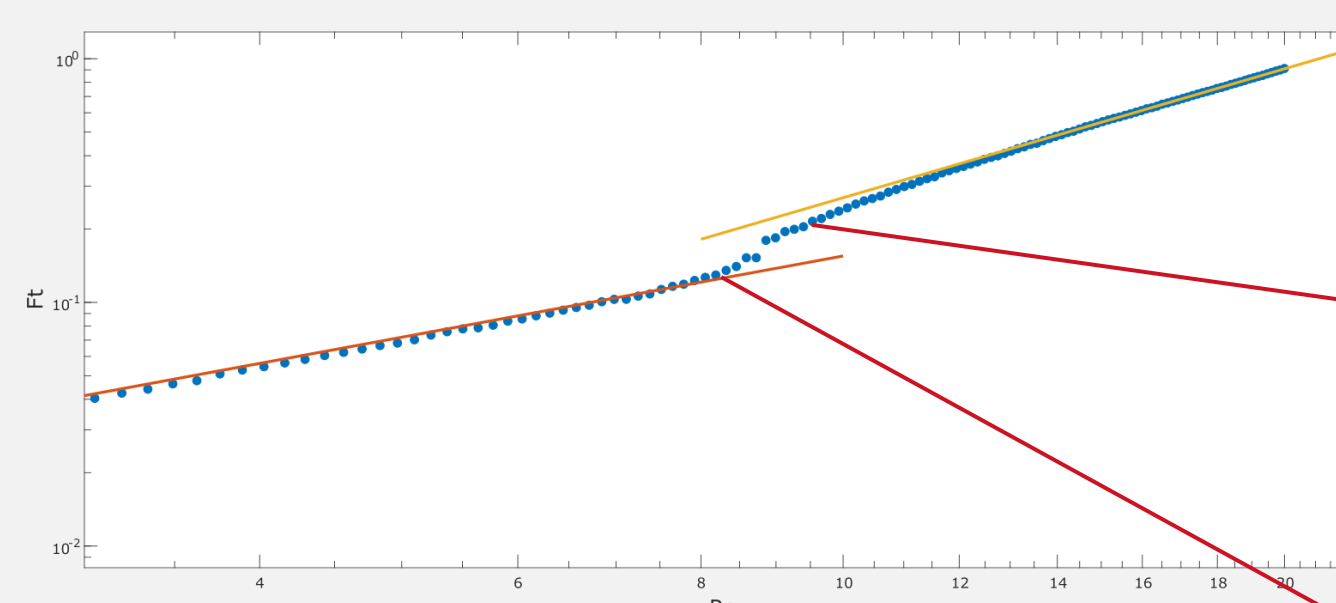


Paramètres de contrôle :

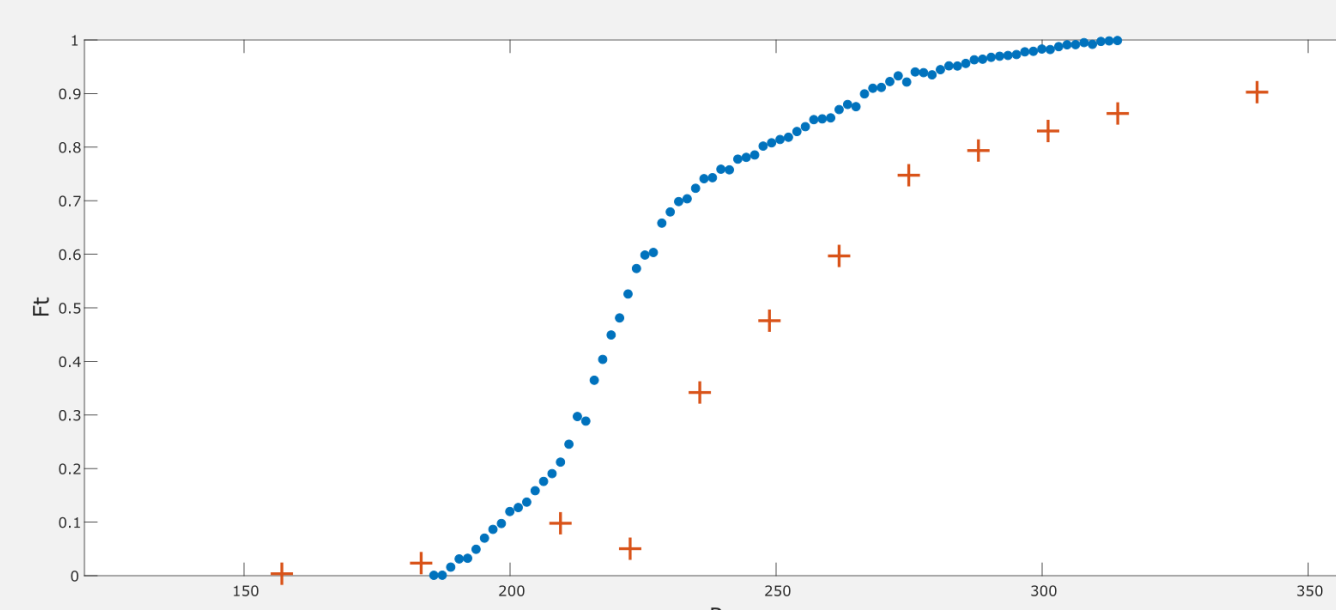
$$\begin{cases} Re_i = \frac{\Omega_i d r_i}{\nu} \\ Re_o = \frac{\Omega_o d r_o}{\nu} \\ Re = \frac{2(\eta Re_o - Re_i)}{1 + \eta} \\ Ro = (1 + \eta) \frac{Re_i + Re_o}{\eta Re_o - Re_i} \end{cases}$$



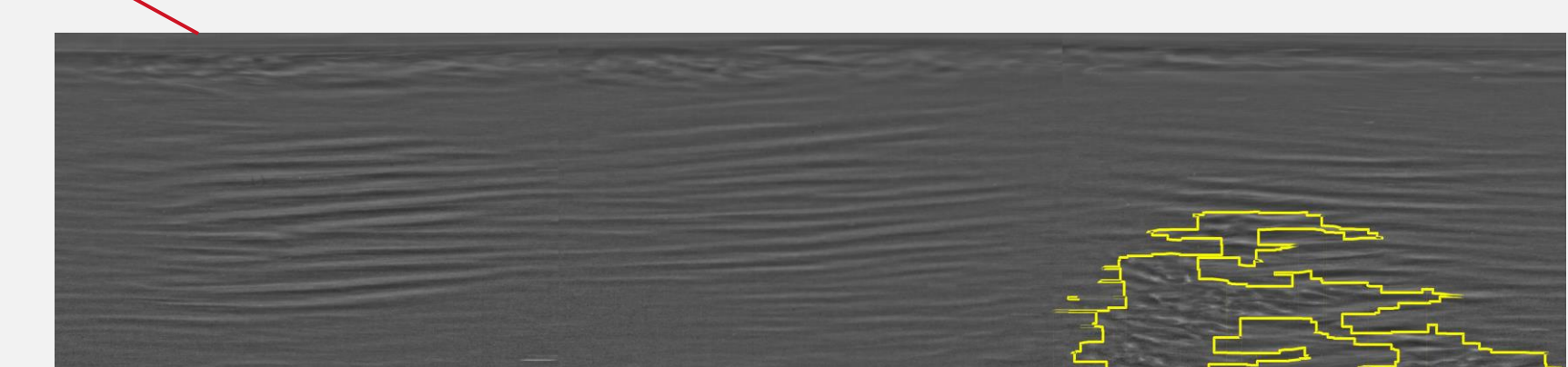
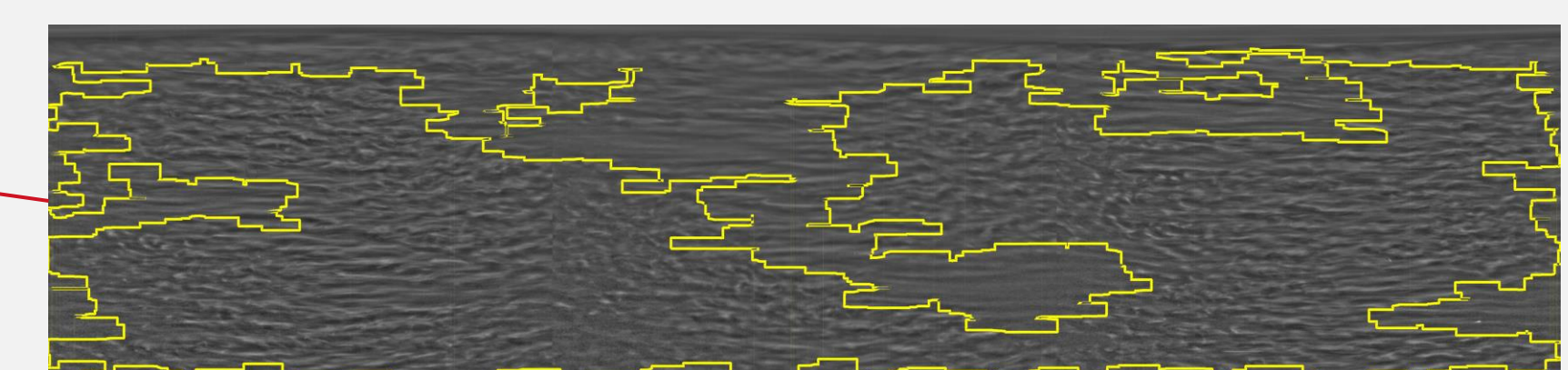
## Résultats



Couple  $C$  en fonction de  $Re$  pour  $Ro = 0,267$ . Points expérimentaux (en bleu), fit pour le régime laminaire ( $C_{lam}$ , en rouge) et fit pour le régime turbulent ( $C_{turb}$ , en jaune). Les couples sont donnés en mN.m.



Fraction turbulente  $F_t = \frac{C - C_{lam}}{C_{turb} - C_{lam}}$  (en bleu) et fraction turbulente  $F_t$  calculée à partir des visualisations (en rouge) en fonction de  $Re$  pour  $Ro = 0,267$ .



## Conclusion

Nous présentons un nouveau dispositif expérimental permettant de visualiser la totalité de l'écoulement tout en effectuant une mesure simultanée du couple. Nous avons élaboré un programme permettant de faire l'acquisition et la reconstruction de la totalité de l'écoulement puis la détection des zones turbulentes. Nous avons ainsi pu calculer la fraction turbulente et la comparer aux mesures de couple. Les deux grandeurs montrent bien la transition du régime laminaire vers le régime turbulent. Cependant, pour la valeur du nombre de rotation considérée, les seuils de transition donnés par le couple et la fraction turbulente ne coïncident pas exactement. Ceci est peut-être dû à la présence de rouleaux présents dans les zones d'écoulements non turbulents. D'autres mesures pour des valeurs du nombre de rotation différentes seront réalisées afin de vérifier cette hypothèse et ainsi mieux comprendre les régimes de coexistence laminaire-turbulente ainsi que la transition vers la turbulence.

## Références

- [1] D. Coles, 1965. J. Fluid Mech. **21**, 385–425
- [2] C. D. Andereck, S. Liu & H.L. Swinney, 1986. J. Fluid Mech. **164**, 155–183
- [3] A. Prigent, G. Grégoire., H. Chaté, O. Dauchot, W. van Saarloos, 2002. Phys. Rev. Lett. **89**, 014501
- [4] R. P. Feynman, 1963. Lecture notes in Physics, volume 2. [The Feynman Lectures on Physics \(caltech.edu\)](http://www.cftel.net/)
- [5] A. Meseguer, F. Mellibovsky, M. Avila & F. Marques, 2009. Phys. Rev. E **80**, 046315
- [6] S. Dong, 2009. Phys. Rev. E **80**, 067301.
- [7] G. Lemoult, L. Shi, K. Avila et al., 2016. Nature Phys **12**, 254–258 (2016).