



# Génération et décroissance de la turbulence à l'arrêt

Florian Lefebvre, H. Singh, P. Tournant, A. Prigent\*

*LOMC, Normandie Université, UniHavre, CNRS, Le Havre, France*

*\*arnaud.prigent@univlehavre.fr*

# Sommaire

## Introduction

*Contexte & importance • Résultats expérimentaux • Objectifs de l'étude*

## Système

*Dimensions du système • Propriétés hydrodynamiques*

## Position du problème

*Mécanismes à l'oeuvre après l'arrêt brutal • Intérêt de l'étude numérique*

## Modélisation numérique

## Résultats numériques

*Décroissance radiale de vitesse azimutale • Discriminant et longueur de Rayleigh • DST et champs de vitesses • Problèmes rencontrés*

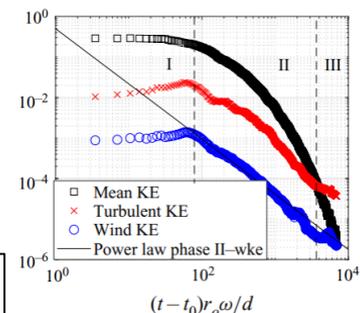
## Conclusion & Perspectives

# Introduction

- **Contexte et importance :**
  - Comprendre la turbulence et ses effets sur les écoulements,
  - Système de Taylor-Couette souvent utilisé pour étudier la turbulence : Système fermé et confiné • Turbulence anisotrope • Taille modeste (étude plus pratique de la décroissance de la turbulence),
  - Contribuer à l'amélioration des modèles de turbulence et la compréhension de la décroissance de la turbulence.

- **Résultats expérimentaux :**
  - 3 phases distinctes :
    - Première phase : Génération de turbulence,
    - Deuxième phase : Début de la décroissance de l'énergie cinétique,
    - Troisième phase : Décroissance due à la diffusion visqueuse.
  - Nombre de Reynolds au cylindre extérieur : 870 • 1 700 • 17 000

- **Objectifs de la recherche :**
  - Comment la turbulence se génère et se dissipe après l'arrêt brutal du cylindre extérieur ?
  - Quels sont les mécanismes de génération de turbulence après l'arrêt brutal ?
  - Comment la turbulence évolue-t-elle dans le temps ?



\*Evolution des énergies cinétique en fonction du temps pour  $Re_o = 17\ 000$

\* Singh, Harminder, and Arnaud Prigent. "Turbulence generation and decay in the Taylor-Couette system due to an abrupt stoppage." *Journal of Fluid Mechanics* 918 (2021): A21.

# Système

- Dimensions du système :

$$\left\{ \begin{array}{l} d = r_o - r_i = 0,01 \text{ m} \\ \eta = r_i / r_o = 0,8 \\ \Gamma = L / d = 10 \end{array} \right.$$

*(Largeur entre les cylindres)*

*(Rapport de rayon)*

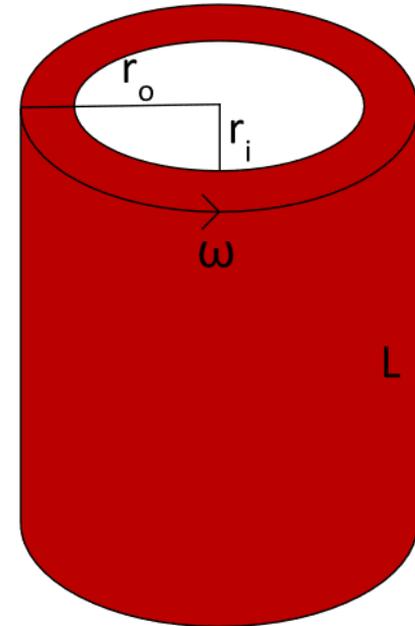
*(Rapport d'aspect axial)*

- Propriétés hydrodynamiques :

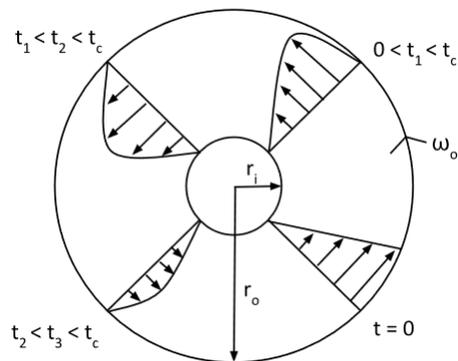
- Nombre de Reynolds au cylindre extérieur :

$$Re_o = \frac{r_o \omega d}{v_{eau}}$$

- Cylindre intérieur à l'arrêt,
- Cylindre extérieur en rotation avant le stop,  
→ Avant le stop : Profil laminaire



# Position du problème



- **Mécanismes à l'oeuvre après l'arrêt brutal :**

- Arrêt de la paroi, fluide en mouvement par inertie,
- Apparition d'une couche limite instable vis-à-vis de l'instabilité centrifuge,
- Génération de rouleaux rendus instables par l'évolution du champ de vitesse,
- Création d'un écoulement turbulent par réorganisation des rouleaux,
- Décroissance de la turbulence.

- **Intérêt de l'étude numérique :**

- Visualiser et analyser les champs de vitesse, de pression et d'autres propriétés du fluide,
- Explorer avec davantage de précision spatiale et temporelle les premiers instants après l'arrêt,
- Réaliser une étude paramétrique.

# Modélisation numérique

## Conditions aux limites axiales

Périodicité aux extrémités axiales du cylindre

Le plan périodique supérieur est un voisin direct à la limite périodique inférieure.

→ Choix d'une hauteur paire pour les simulations

\* Direct Numerical Simulations

## Maillage

Échelles de Kolmogorov spatiale et temporelle moyennées

$$\langle \eta_K \rangle = \left( \frac{v^3}{\langle \epsilon \rangle} \right)^{1/4} \quad \langle \tau_K \rangle = \left( \frac{v}{\langle \epsilon \rangle} \right)^{1/2}$$

- Etude aux plus petites échelles de turbulence,
- $\epsilon$  : taux de dissipation de l'énergie visqueuse basée sur l'estimation du couple de Wendt et Dubrulle.

→ Le maillage agit comme un filtre : les échelles plus petites que le maillage ne seront pas calculées

## Pas de temps

## Modèle de turbulence

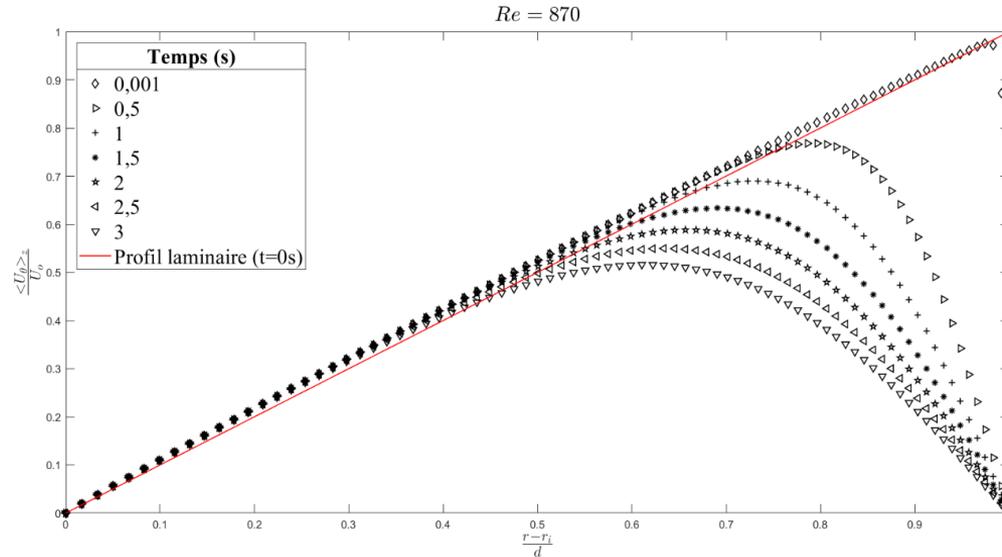
Large Eddy Simulation - Wall Adapting Local Eddy-Viscosity (LES - Wale)

- Capture bien les effets de structures turbulentes,
- Réduit significativement les temps de calcul par rapport à la DNS\*.

→ Aussi précise que la DNS pour un maillage raffiné mais plus rapide

# Résultats numériques

- Décroissance radiale de la vitesse azimutale :

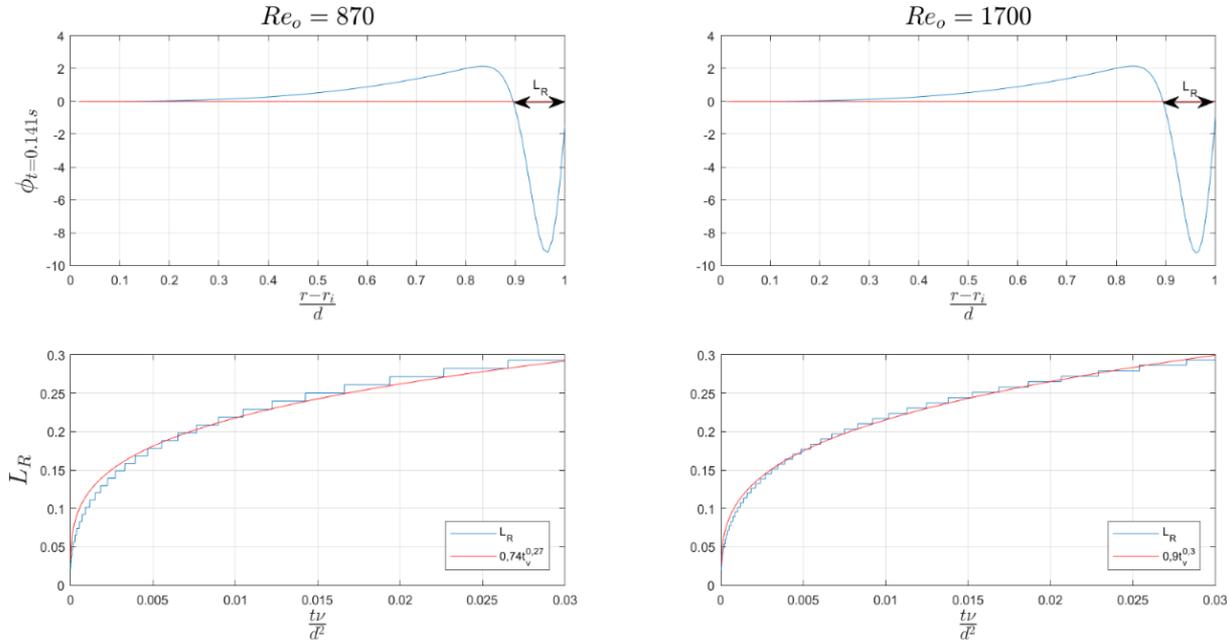


→ La décroissance radiale de la vitesse tangentielle révèle un profil caractéristique avec un maximum diminuant vers le centre du gap entre les cylindres.

→ Une partie du profil est stable (partie ascendante), l'autre partie est instable vis-à-vis de l'instabilité centrifuge et s'élargit avec le temps.

# Résultats numériques

- Discriminant et longueur de Rayleigh\* :  $\Phi(r) \equiv \frac{1}{r^3} \frac{d}{dr} |rV(r)|^2$



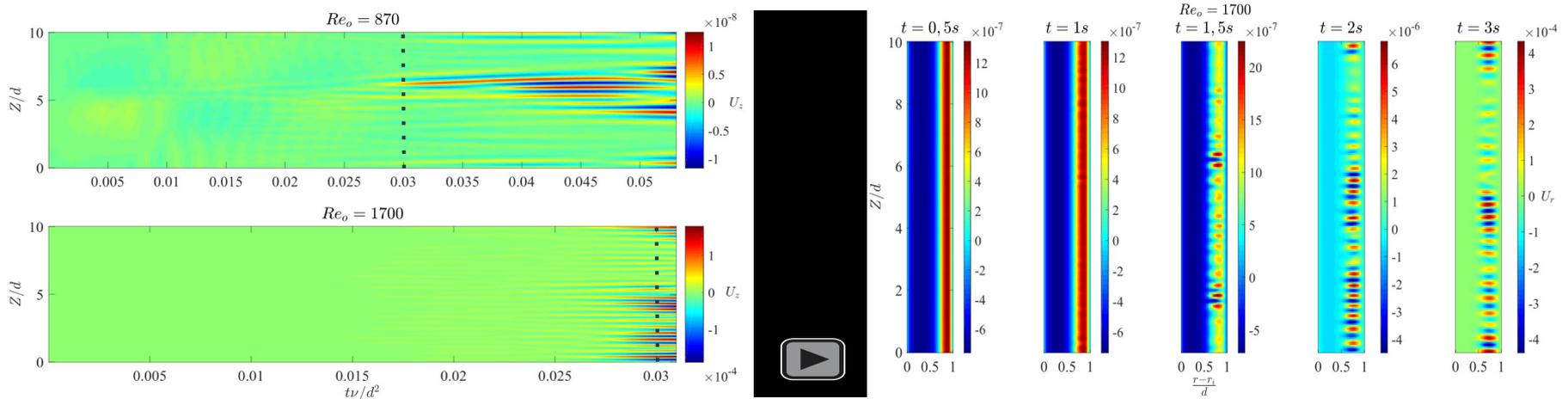
Le discriminant et la longueur de Rayleigh révèlent la transition vers la turbulence selon une loi de puissance et un seuil d'instabilité.

\*Neitzel, G. P., and Stephen H. Davis. "Centrifugal instabilities during spin-down to rest in finite cylinders. Numerical experiments." *Journal of Fluid Mechanics* 102 (1981): 329-352.

# Résultats numériques

- Diagramme Spatio-Temporel (DST) et champs de vitesses :

$r = 0.0475 \text{ m}$  :



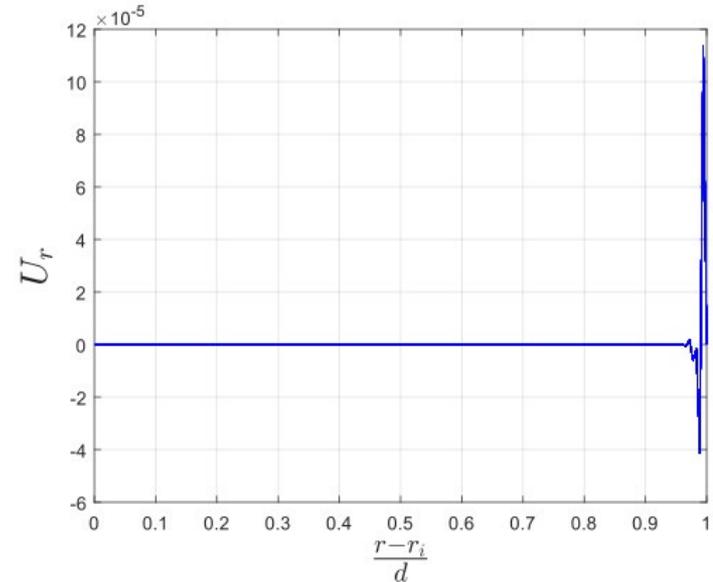
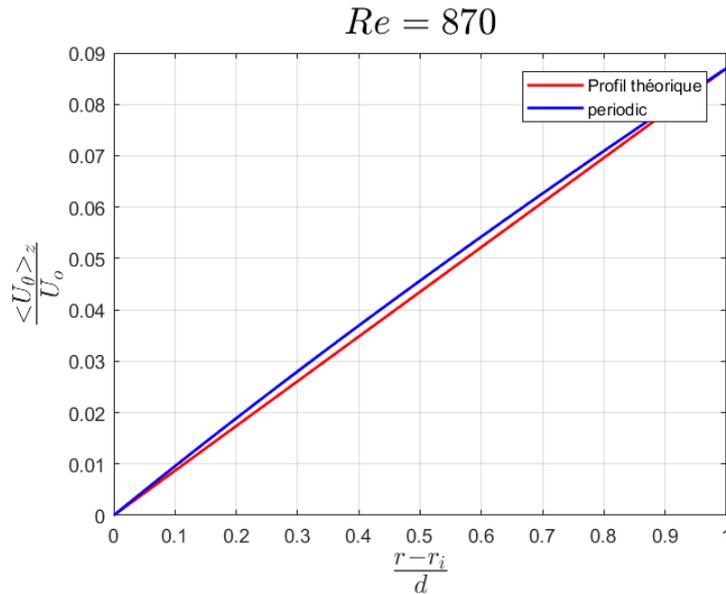
Les DST révèlent l'apparition de rouleaux sur la composante axiale de la vitesse :

- Augmentation de l'homogénéité avec un nombre de Reynolds plus grand,
- Apparition plus précoce pour un nombre de Reynolds plus grand.

# Résultats numériques

- Problèmes rencontrés :

- Concavité / Convexité du profil laminaire :
- Pic de vitesse radiale à la paroi externe après le stop :



# Conclusion & Perspectives

- **Conclusion :**
  - Décroissance radiale de la vitesse tangentielle cohérente avec la théorie et tendant vers le centre ( $r = 0,045$  m)
  - Apparition de rouleaux sur OpenFoam et Ansys aux nombres de Reynolds et à des temps cohérents avec l'expérience après l'arrêt.
  
- **Perspectives :**
  - Etude sur des temps plus longs,
  - Comparaison des résultats entre OpenFoam et Ansys avec les résultats expérimentaux,
  - Etude approfondie des rouleaux : Nombre d'onde axial/azimutal ▪ Instant d'apparition ▪ Fréquence ▪ Croissance en amplitude,
  - Etude de l'énergie cinétique et du taux de dissipation de l'énergie,
  - Analyse de stabilité linéaire.

# Remerciements

La Région Normandie pour son soutien financier à travers le Laboratoire d'Excellence Energy, Materials and Clean Combustion Center (LabEx EMC3) et l'Ecole Supérieure des Matériaux et de l'Energie (GS-MES) ainsi que Ansys pour avoir fourni une licence le temps du stage et le CRIANN pour nous permettre d'effectuer des calculs sur leur supercalculateur.



# Merci de votre attention !

