



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

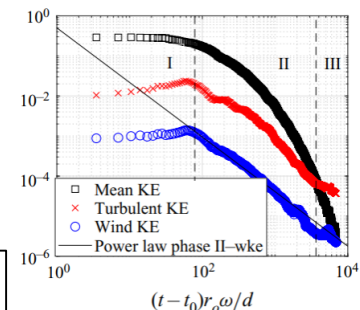
Conclusion & Perspectives

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)

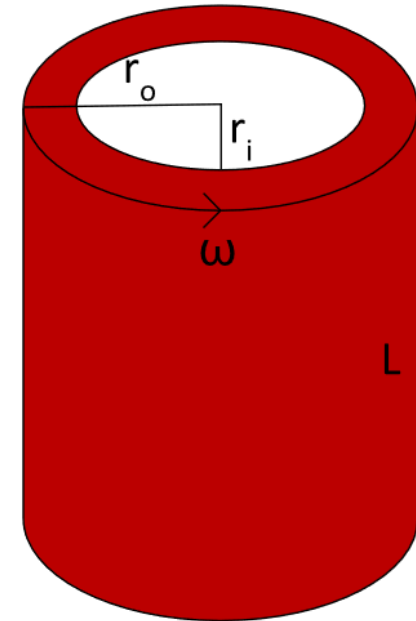
(Rapport d'aspect axial)

- Propriétés hydrodynamiques :

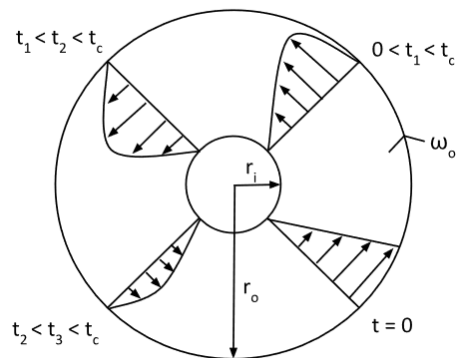
- Nombre de Reynolds au cylindre extérieur :

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

- 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,
- ϵ : 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

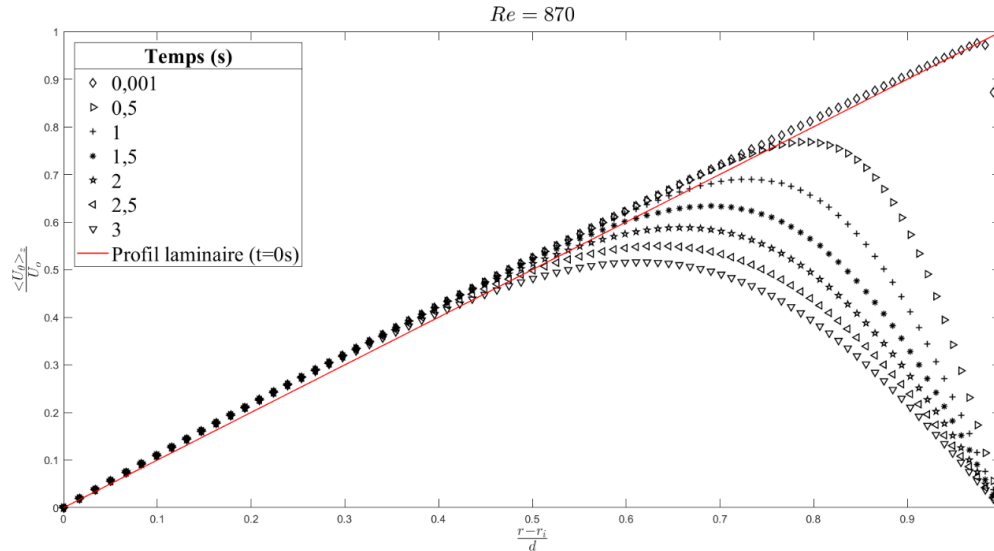
Large Eddy Simulation - Wall Adapting Local Eddy-Viscosity (LES - Wale)

- 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 :

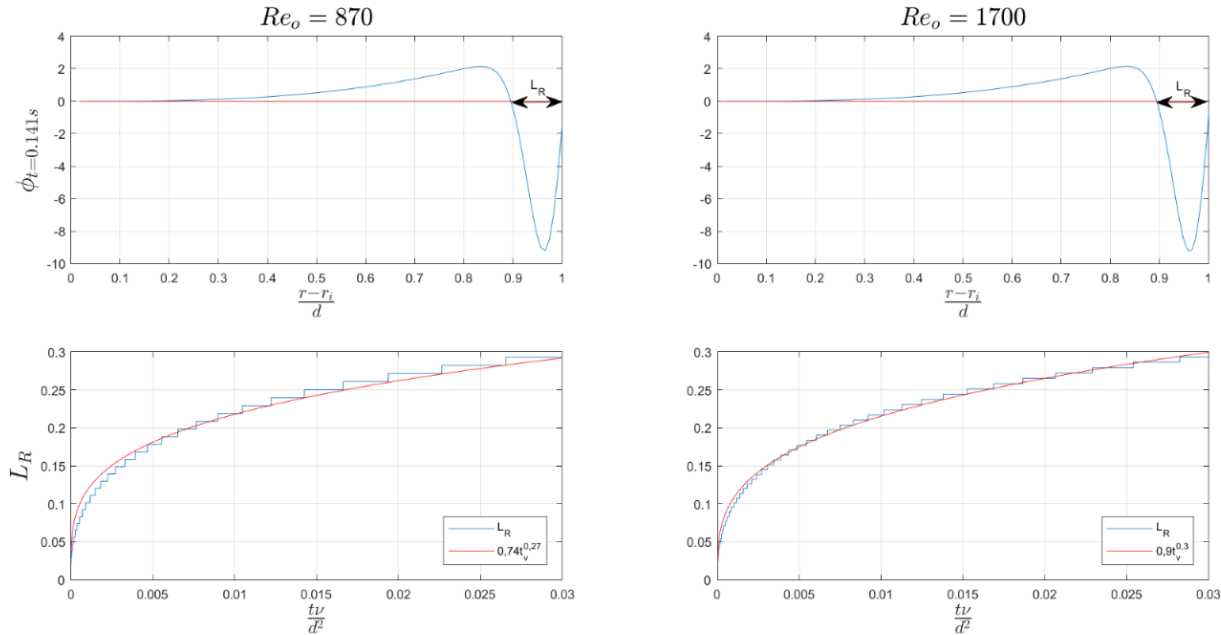


→ La décroissance radiale de la vitesse tangentielle révèle un profil caractéristique avec un maximum diminuant vers le centre du gap entre les cylindres.

→ 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* : $\Phi(r) \equiv \frac{1}{r^3} \frac{d}{dr} |rV(r)|^2$



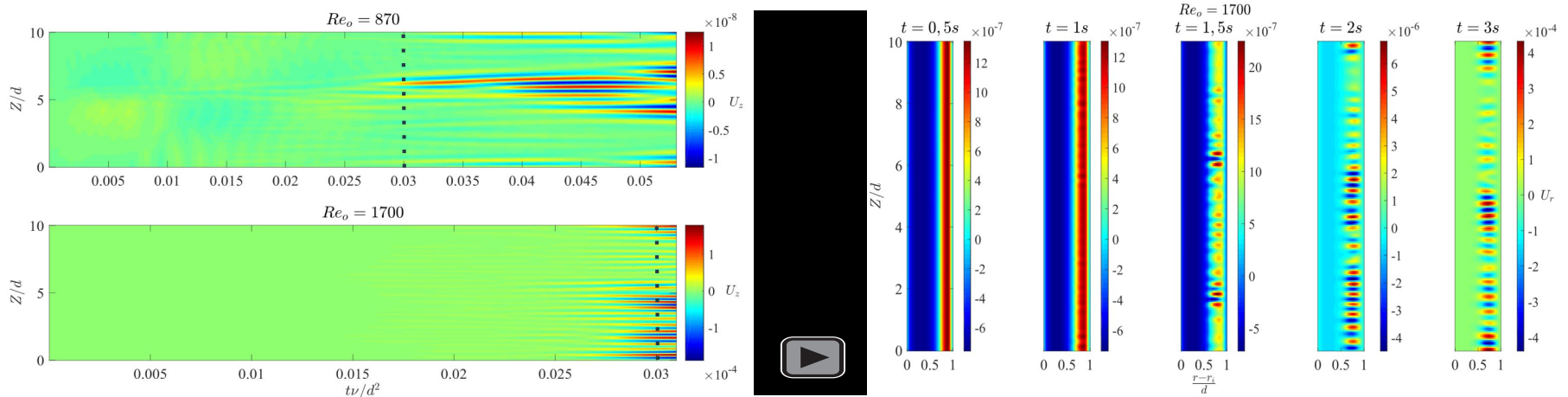
Le discriminant et la longueur de Rayleigh révèlent la transition vers la turbulence selon une loi de puissance et un seuil d'instabilité.

*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 :

$r = 0.0475 \text{ m}$:



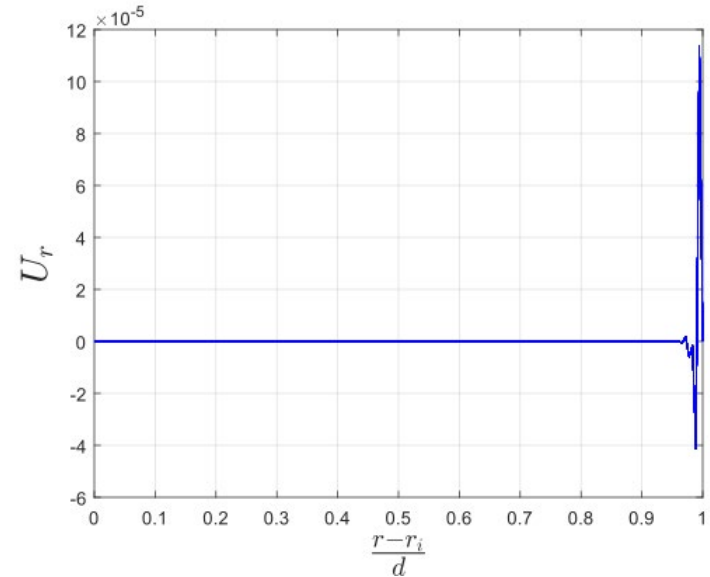
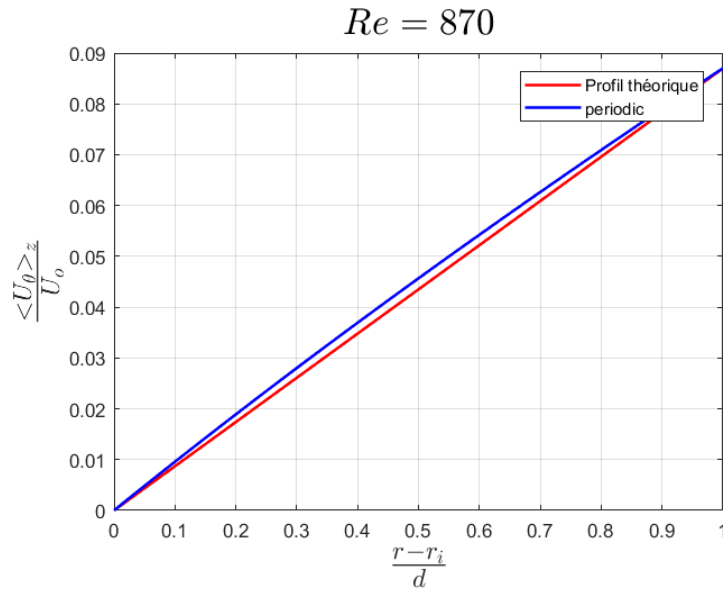
Les DST révèlent l'apparition de rouleaux sur la composante axiale de la vitesse :

- 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 !

