

EFFET DE LA DEFORMATION RADIALE DU CYLINDRE INTERIEUR SUR L'ÉCOULEMENT DANS LE SYSTEME DE TAYLOR-COUETTE A SURFACE LIBRE

Ali ABDELALI, Hamid OUALLI², Ahcèn BOUABDALLAH³

¹ LMF, EMP BP 17 Bordj El-Bahri, 16111 Alger, Algérie

² LMF, EMP BP 17 Bordj El-Bahri, 16111 Alger, Algérie

³TSE, USTHB, BP 32 El-Alia, Bab-Ezzouar

RÉSUMÉ

Le présent travail consiste à étudier numériquement et expérimentalement l'écoulement dans un système de Taylor-Couette modifié. Le cylindre intérieur est en rotation, alors que le cylindre extérieur est fixe. Le fluide est limité en haut par une surface libre en contact direct avec l'air. Le contrôle actif consiste en l'application d'une déformation radiale au niveau du cylindre intérieur tournant. L'objectif principal est d'observer l'influence de cette oscillation radiale, en présence d'une surface libre, sur l'évolution de la structure des vortex de Taylor relatifs à l'apparition de la première instabilité d'une part, et sur la destruction de ces vortex d'autre part. Une étude comparative a été établie entre les deux approches : numérique et expérimentale. Les résultats montrent que l'application de ce contrôle actif retarde considérablement l'apparition de la première instabilité de $Ta_{c1}=44.8$ à $Ta_{c1}=69.4$ correspondant à $\varepsilon=1.5\%$. Il est établi aussi qu'avec une certaine fréquence, les rouleaux de Taylor sont complètement détruits, et le fluide passe à l'état de turbulence développée.

Mots Clés: *Déformation Radiale, Cellules de Taylor, Instabilité, Surface Libre*

NOMENCLATURE

Symboles :

Ta nombre de Taylor

d entrefer mm

r rayon variable mm

f fréquence Hz

Lettres grecques :

ε amplitude %

Γ taux de charge

δ jeu radial

η rapport des rayons

Indices:

c critique

1. INTRODUCTION

L'effet de la surface libre sur l'écoulement dans un système de Taylor-Couette a été introduit par plusieurs auteurs ; Orr et Scriven [1] ont utilisé deux méthodes itératives pour l'étude de la tension superficielle, de la viscosité, du champ gravitationnel et des forces inertielles des surfaces libres des écoulements. Mahamadia et Bouabdellah [2] ont montré par voie expérimentale l'effet du nombre de Reynolds et le taux de remplissage sur la stabilité de l'écoulement. Djeridi et al [3] et Atkhen et al [4] ont étudié expérimentalement le mouvement des

bulles d'air capturées près d'une surface libre. Watanabe et al [5,6] ont montré numériquement et expérimentalement l'évolution de la surface libre d'un écoulement entre deux cylindres concentriques et à grandes vitesses de rotation.

A travers cette étude, nous essayons d'observer l'effet de la surface libre conjugué à la déformation du cylindre intérieur tournant sur le comportement de l'écoulement. Les résultats numériques sont obtenus par le code de calcul FLUENT pour les écoulements incompressibles. Le système de base a une hauteur de 170 mm, l'entrefer entre les deux rayons est $d = R_2 - R_1$, le rapport des rayons est de $\eta = 0,9$, le taux de charge correspondant à la hauteur du système est de $F = 28,5$ et le jeu radial des deux cylindre est de $\delta = 0,1$.

En premier lieu, l'étude a porté sur le comportement de l'écoulement dans le cas nominal sans contrôle. Les résultats montrent que l'apparition de la première instabilité est remarquablement retardée lorsque le taux de charge des cylindres diminue.

Dans la deuxième étape de l'étude, on applique une déformation sinusoïdale au niveau du cylindre intérieur tournant où l'amplitude s'étale sur un intervalle de $\varepsilon = 0$ à 1,5% du rayon intérieur, avec une fréquence fixe égale à $f = 48\text{Hz}$. Il est aussi reporté que l'application de cette vibration induit une augmentation du nombre des rouleaux de Taylor selon les élévations du niveau de la surface libre, tout en retardant l'apparition de la première instabilité de l'écoulement (la relaminarisation). En fin, la visualisation montre que la surface libre contribue fortement à la destruction des vortex de Taylor.

2. PARAMETRAGE NUMERIQUE

Les rayons du cylindre intérieur et du cylindre extérieur sont respectivement R_1 et R_2 . Les axes des cylindres sont verticaux et parallèles à la direction gravitationnelle. Le disque inférieur du système de Taylor-Couette est fixe. Le fluide est en contact avec l'air à travers une surface libre. La déformation radiale du cylindre tournant est définie par $r = R_1(1 + |\varepsilon \sin 2\pi f|)$, où r est le rayon variable, $\varepsilon = \frac{r - R_1}{R_1}$ est l'amplitude de déformation, et f est la fréquence de déformation. Cette fréquence est indépendante de celle de la vitesse de rotation du cylindre intérieur.

L'étude numérique est basée sur la résolution des équations de Navier-Stokes, en utilisant le code de calcul FLUENT. La méthode de suivi d'interface utilisée est le Volume Of Fluid (VOF). Pour la discrétisation du temps, le schéma explicite a été choisi. Le pas de temps a été fixé égal à $\Delta t = 0,0002$ s. Le mouvement oscillatoire du cylindre intérieur a été établi grâce au sous-module de Fluent : Dynamic mesh.

3. CONDITIONS EXPERIMENTALES

L'idée consiste à appliquer une déformation pulsatile sur le cylindre intérieur. Pour satisfaire cette condition, le cylindre intérieur est fabriqué d'une gomme déformable assez dure pour revenir à l'état initiale.

Un mécanisme de déformation épouse la forme du cylindre de l'intérieur. Il est constitué principalement d'une came (de 4 bosses) fixée sur l'arbre du moteur tournant, des poutres métalliques posées sur la came et porte-poutres assurant un seul degré de liberté des poutres (direction radiale), voir la figure 1.

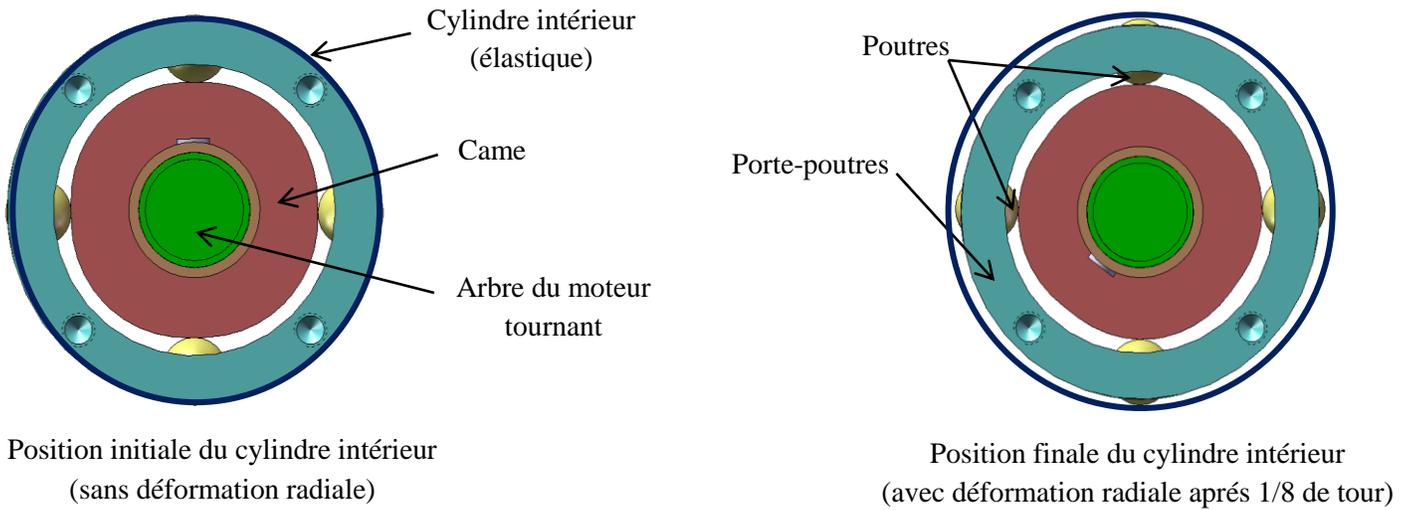
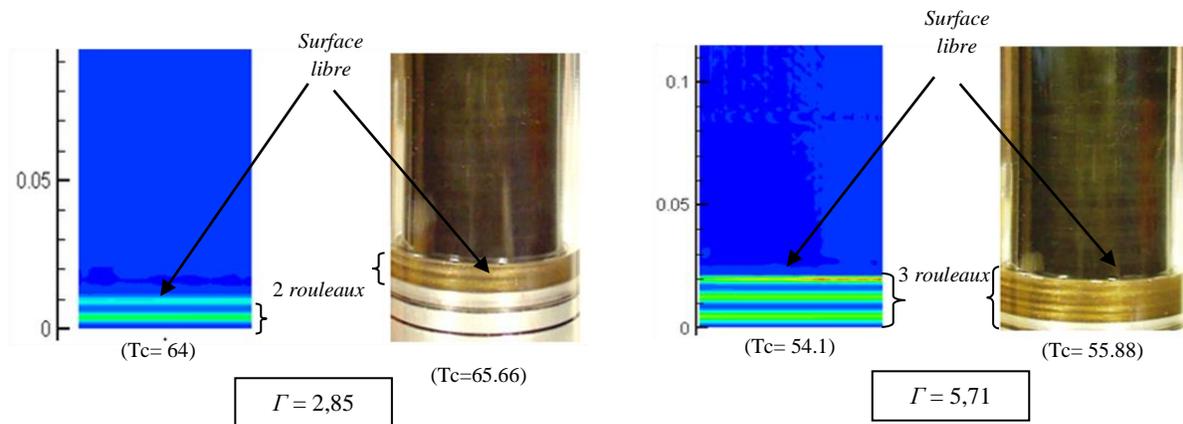


Figure 1 : Vues en plan radial de différentes positions du cylindre intérieur.

3. RESULTATS

1. Cas nominal (sans déformation): apparition de la première instabilité pour différents taux de charge :

Une étude comparative entre les résultats numériques et expérimentaux a été établie. La figure 2 montre que lorsque le taux de charge diminue, l'apparition de la première instabilité est retardée (de $\Gamma=28,5$ correspondant à $Ta_{c1}=44,8$ à $\Gamma=2,5$ correspondant à $Ta_{c1}=64$). Cependant, on note que pour les deux approches (numérique et expérimentale) l'établissement du même nombre de rouleaux de Taylor. Globalement, la variation entre ces deux approches en termes de valeurs de nombre de Taylor critique Ta_c égale à 3%.



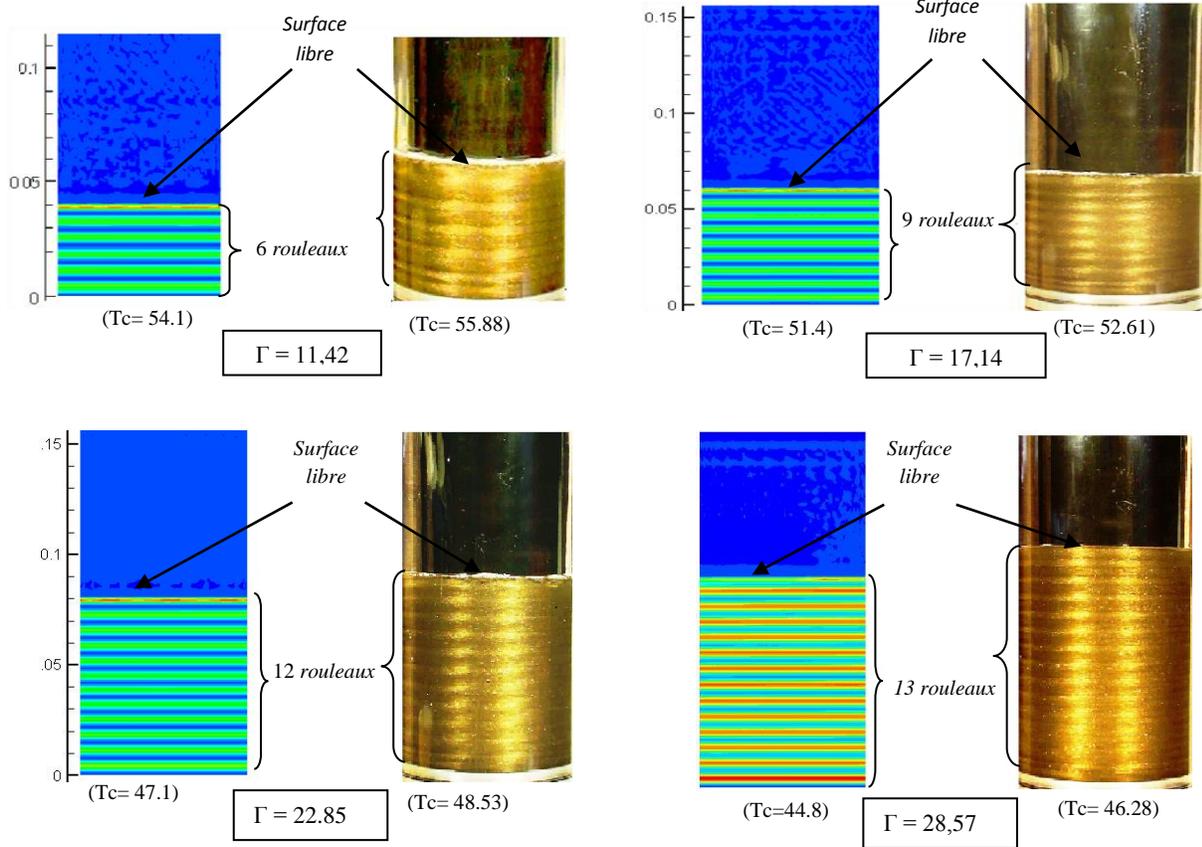


Figure 2: Etablissement de la première instabilité pour différents taux de charge.
 Étude comparative.

2. Cas contrôlé (avec déformation) :

Le contrôle consiste à appliquer une déformation sinusoïdale sur le cylindre intérieur. L'écoulement étant considérablement influencé par cette oscillation, notamment en :

a- Relaminarisation de l'écoulement (retard de l'apparition de la première instabilité) :

Il ressort de cette étude que le nombre de Taylor critique Ta_{c1} caractérisant l'apparition de l'empilement des vortex de Taylor, augmente de façon significative. En effet, pour le cas nominal sans contrôle, $Ta_{c1}=44,8$ et pour une amplitude de déformation égale à 1,5% la valeur de $Ta_{c1}=69,4$ correspondant à un taux d'augmentation d'environ 55% relativement au cas naturel. La première instabilité est, alors, considérablement retardée, dans son apparition, relativement à l'évolution naturelle de l'écoulement.

b- Nombre des vortex :

A chaque amplitude appliquée, une certaine élévation de la surface libre est enregistrée. Il ressort que le nombre des vortex de Taylor (rouleaux) augmente avec le taux d'élévation.

La figure 3 montre l'évolution du nombre des vortex avec la croissance de l'amplitude. Il passe de 26 rouleaux lorsque $\varepsilon = 0$ (cas nominal) à 34 rouleaux lorsque $\varepsilon = 1,5\%$ du rayon intérieur.

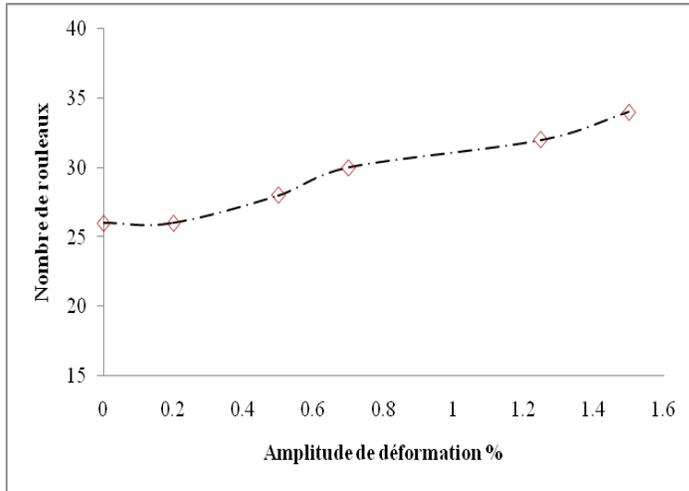


Figure 3: Variation du nombre des vortex avec l'augmentation de l'amplitude de déformation.

c- Destruction des vortex

La figure 4 montre le processus en détail de la destruction des vortex, correspondant à l'amplitude $\varepsilon = 1,25\%$. Ce processus passe par plusieurs étapes suivant les fréquences de déformation appliquées. Lorsque $f = 1,6\text{Hz}$, une dislocation apparaît au niveau des rouleaux suivant une certaine direction. En augmentant davantage la fréquence de déformation, jusqu'à 3,1 Hz, on remarque l'établissement de la destruction partielle des rouleaux de Taylor, où le tourbillon d'Ekman résiste encore à ce niveau de fréquence. Avec une fréquence qui égale à $f = 22 \text{ Hz}$, l'écoulement de Taylor-Couette est complètement agité, la surface libre se trouve à une élévation maximale, et toutes les structures tourbillonnaires sont détruites dans le système.

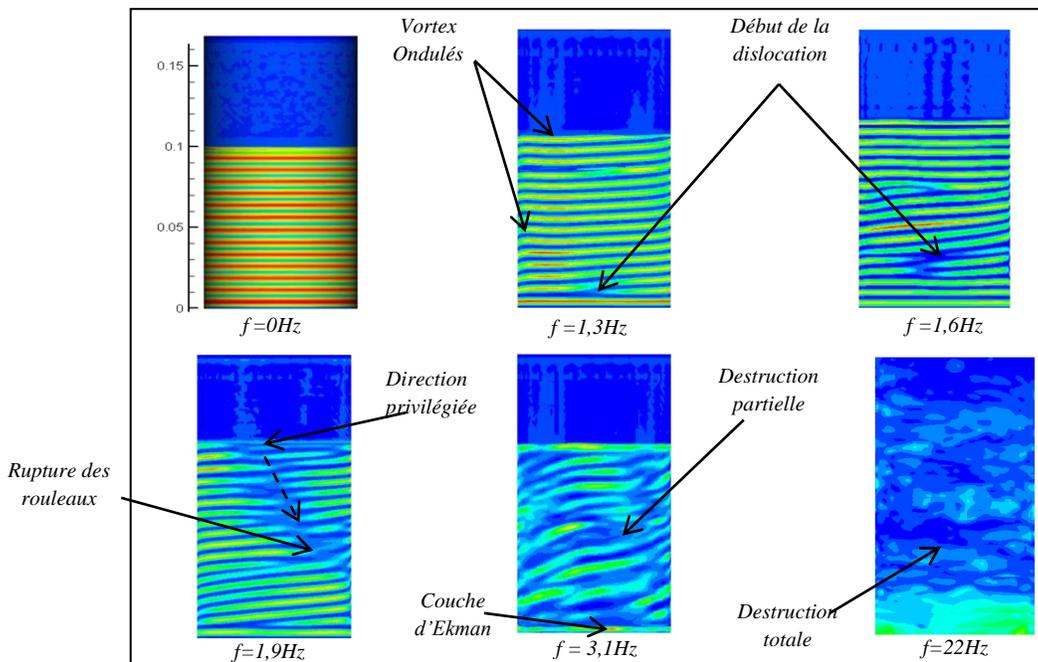


Figure 4: Destruction des vortex dans le système de Taylor-Couette avec surface libre. Résultats numériques.

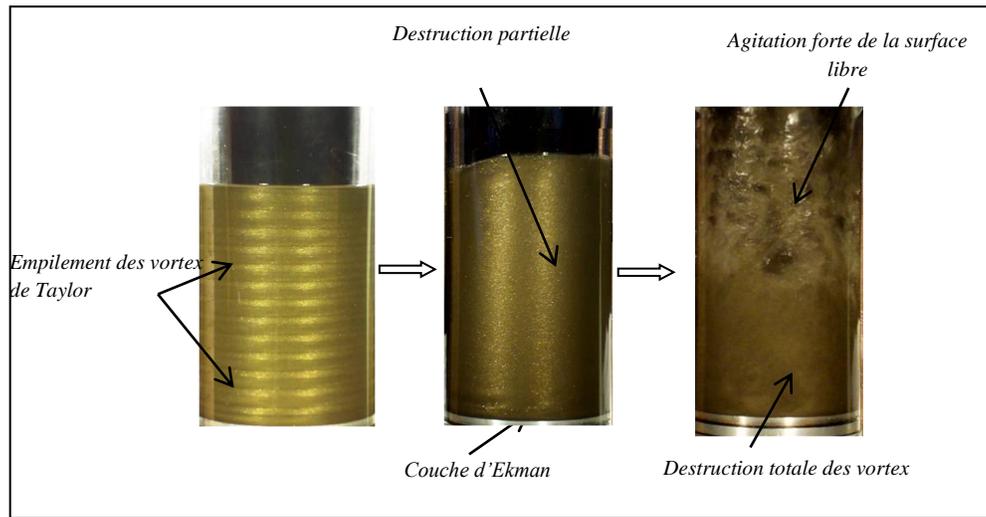


Figure 4: Destruction des cellules de Taylor avec agitation de la surface libre. Résultats expérimentaux.

4. CONCLUSIONS

Le retard de l'apparition de la première instabilité (relaminarisation de l'écoulement) a été étudié par deux méthodes: différents taux de charge et l'application d'une déformation pulsatile du cylindre intérieur. Ce dernier contrôle actif affecte considérablement l'écoulement de Taylor-Couette. Il ressort que, selon une amplitude et une fréquence bien déterminée, et conjointement avec l'agitation de la surface libre, toutes les structures tourbillonnaires sont complètement détruites, et le fluide devient turbulent. Ce phénomène s'appelle le « mixing », c'est le passage volontaire de l'état de l'écoulement laminaire-turbulent, où la surface libre contribue fortement dans cette transition.

5. REFERENCES

- [1] Orr and Scriven , *Rimming flow: Numerical simulation of steady, viscous, free surface flow with surface tension*, J. Fluid Mech, vol. 84, part one, 1978.
- [2] Mahamdia and Bouabdellah , *Écoulement de Taylor-Couette en géométrie finie sur à surface libre*, The Canadian Journal Of Chemical Engineering, 2003.
- [3] Djeridi et al. , *Two phases Couette-Taylor flow: Arrangement of the dispersed phase and effects on the flow structures*, Phy. Fluids 16 (128) 2004.
- [4] Atkhen et al. , *Air bubbles in a Couette-Taylor flow*, C.R. Acad. Sci. Paris. 327. Serie II.
- [5] Watanabe et al. , *Development of free surface flow between concentric cylinders with vertical axis*, J,Phys.Conf. series 14, pp 9-19, 14th INT CT, WORKSHOP, 2005.
- [6] Watanabe et al. , *Mode formation of free surface rotating flow between concentric vertical cylinders*, Journal of Physics: Conference Series 137, 2008.