

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Madame Fatima Zahrae ERRAGHROUGHI

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

Spécialité : Génie Energétique

Le Jeudi 26 Décembre 2024 à 15h00 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

Numerical Investigation of Particle Deposition in Turbulent Curved Pipes

Président :

Pr. Mohamed ASBIK, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Abdellah BAH, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Co-encadrant de thèse :

Pr. Abdellatif BEN ABDELLAH, PES, FST-Tanger, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan

Rapporteurs :

Pr. Najma LAAROUSSI, PES, EST)Sale, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Abdelkader BOULEZHAR, PES, Faculté des Sciences Aïn Chock, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Said SAADEDDINE, PES, FST-Mohammedia, Université Hassan II, Casablanca

Examineur :

Pr. Omar ANSARI, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Invité :

Pr. Anas EL MAAKOUL, MC, Université Internationale de Rabat

Résumé: Le développement des industries pour répondre à la demande croissante entraîne une augmentation significative de la consommation d'énergie, aggravant ainsi les impacts environnementaux. L'une des principales sources de consommation d'énergie dans le secteur industriel est l'encrassement, défini comme le dépôt de matériaux indésirables sur les surfaces des équipements industriels. Parmi les équipements particulièrement sujets à l'encrassement figurent les tuyaux coudés.

Un coude d'une forme spécifique, tel qu'un coude à 90°, facilite le passage des réseaux de canalisations autour des obstacles, optimise les contraintes spatiales et ajuste la direction du flux de fluides dans des systèmes critiques tels que les procédés chimiques, les centrales électriques et les systèmes CVC (chauffage, ventilation et climatisation), où les dépôts de particules posent des défis opérationnels. Lorsque des particules s'accumulent dans ces coudes, cela peut entraîner des inefficacités telles que l'obstruction du flux, une augmentation de la perte de charge et, dans des cas extrêmes, des risques de sécurité comme des explosions en présence de matériaux inflammables.

Cette thèse vise à approfondir la compréhension du comportement de dépôt des particules dans les coudes à 90° et propose une solution pour réduire ce dépôt en utilisant la dynamique des fluides numérique (CFD). Dans un premier temps, une analyse complète est réalisée pour évaluer l'influence de la géométrie du coude sur l'efficacité du dépôt, en tenant compte des effets des forces centrifuges, des flux secondaires et de l'inertie des particules. Ensuite, l'efficacité du dépôt est étudiée dans des écoulements turbulents anisothermes, en examinant le rôle de la thermophorèse. Cette analyse met en évidence l'interaction complexe entre l'inertie des particules, les flux secondaires et les forces thermophorétiques qui favorisent le dépôt des particules.

Enfin, l'impact de l'insertion d'une nervure dans un coude à section circulaire pour réduire l'encrassement particulaire est exploré. L'étude évalue l'impact de la position de la nervure à différents angles (θ) sur l'efficacité du dépôt des particules. De plus, l'influence du rapport de courbure du coude, ainsi que des dimensions de la nervure (hauteur et largeur), a été évaluée. Les résultats fournissent des connaissances précieuses sur les mécanismes de dépôt des particules dans les coudes et proposent des recommandations de conception pratiques pour améliorer l'efficacité opérationnelle des systèmes de canalisations industriels.

Mots-clés: Coude à 90°, dynamique des fluides numérique (CFD), écoulement turbulent, efficacité du dépôt, thermophorèse, nervure

Abstract: As industries expand to meet growing demands, energy consumption continues to rise, exacerbating environmental impacts. One of the major sources of energy consumption in the industrial sector is fouling, defined as the deposition of unwanted materials on industrial equipment surfaces. Among the equipment particularly prone to fouling are bent pipes.

A bend with a specific shape, i.e., a 90°, facilitates the navigation of pipeline networks around obstacles, optimizes spatial constraints, and adjusts fluid flow direction in critical systems such as chemical processing, power plants, and HVAC systems, where particulate deposit poses operational challenges. When particles accumulate in these bends, they can lead to inefficiencies such as flow obstruction, increased pressure drop, and, in extreme cases, safety risks like explosions when flammable materials are involved.

This thesis aims to advance the understanding of particle deposition behavior in 90° bends and proposes a solution to reduce particle deposition using computational fluid dynamics (CFD). Initially, a comprehensive analysis is conducted to evaluate the influence of bend geometry on deposition efficiency, considering the effects of centrifugal forces, secondary flows, and particle inertia. Following this, deposition efficiency is investigated in anisothermal turbulent flows, examining the role of thermophoresis. This analysis emphasized the intricate interplay between particle inertia, secondary flow, and thermophoretic forces that drive particle deposition. Finally, the potential of rib elements to reduce particulate fouling in circular cross-sectioned bends is explored. The study evaluates the effect of rib placement at different angular positions (θ) on particle deposition efficiency. Additionally, the influence of bend curvature ratio as well as rib dimensions (height and width) was assessed. The findings offer insightful knowledge concerning the mechanisms of particle deposition within bends and propose practical design suggestions to improve the operational efficiency of industrial piping systems.

Keywords: 90° Bend, Computational fluid dynamics (CFD), Deposition efficiency, Rib insertion, Thermophoresis, Turbulent flow