

Comportement hydrodynamique de particules solides micrométriques dans une conduite rectangulaire inclinée

S. KHELIFI, D. FUNFSCHILLING, H-Z. LI, F. LAPICQUE

Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, CNRS – Université de Lorraine ENSIC, 1 rue Grandville, BP 20451, F-54001 Nancy, France

Résumé :

Cette étude a pour but d'étudier le comportement des particules solides au voisinage d'une paroi solide et de déterminer leurs vitesses. Pour des suspensions diluées et pour de faibles vitesses de fluide, les particules ont tendance à être entraînées par le fluide. A fortes concentrations de particules, les interactions entre celles-ci augmentent ce qui engendre une diminution de leur vitesse et les rend ainsi plus prédisposées à s'accumuler sur la paroi solide.

Abstract :

This study aims to investigate the behavior of solid particles in the vicinity of a solid wall and determine their velocity. For dilute suspensions and for low fluid velocities, particles tend to be entrained by the fluid. At high particle concentrations, the interactions between particles become more significant, which makes them more prone to settle on the bottom solid wall.

Mots clefs: particule, suspension, hydrodynamique, vitesse

1 Introduction

Cette étude fait partie d'un projet ANR dont l'objectif est de développer les connaissances nécessaires à l'optimisation d'un pilote de production d'acier par réduction électrochimique de particules d'hématite en suspension dans un milieu alcalin à 110°C, en vue de proposer un procédé industriel fiable et écologique comme alternative au procédé classique reposant sur la réduction par le charbon. Ces travaux ont montré que la réduction se produit par contact direct des particules d'hématite (environ 10 µm) avec la surface de la cathode. Un procédé électrolytique pilote en développement a ainsi été conçu pour favoriser les interactions mécaniques entre particules et cathode [1,2].

L'écoulement de la suspension d'oxyde de fer dans le réacteur électrochimique s'effectue dans l'espace compris entre la cathode et les anodes, d'épaisseur égale à 15mm. La réaction de réduction a lieu sur la cathode au contact des particules d'hématite sur cette dernière. Cette étude a pour but d'étudier le comportement hydrodynamique des particules de fer transportées par les suspensions concentrées en vue d'une extrapolation à plus grande échelle.

2 Démarche

Les expériences ont été mises en œuvre par visualisation de la suspension dans une conduite rectangulaire transparente inclinée à 45°, de section carrée (20mm de côté) avec une caméra rapide (Phantom® v711). Les particules d'hématite ont été remplacées par des particules de verre de taille plus grande pour permettre de mieux visualiser les particules en mouvement. La cellule est alimentée en suspension à partir d'une cuve agitée avec une pompe à piston. Le fluide vecteur a été choisi de manière à éliminer le flux de bulles de gaz dans la cellule qui entrave le mouvement des particules solides. La cellule de mesure, la caméra et la source lumineuse sont fixées sur une table optique (Thorlabs) qui offre une excellente isolation des vibrations. Leur déplacement s'effectue à l'aide d'outils de translation linéaire de précision qui garantit une meilleure précision du pas de course.

L'acquisition des images se fait à l'aide d'un ordinateur et d'un logiciel d'acquisition. L'analyse des images obtenues par la caméra donne accès au champ de vitesses des particules dans la cellule.

Les expériences ont été menées pour différentes concentrations des particules solides et différentes vitesses d'écoulement de la suspension.

3 Résultats

La figure 1 illustre un exemple d'images obtenues par la caméra rapide à partir desquelles les vitesses des particules sont déterminées selon la direction de l'écoulement et la direction transversale.

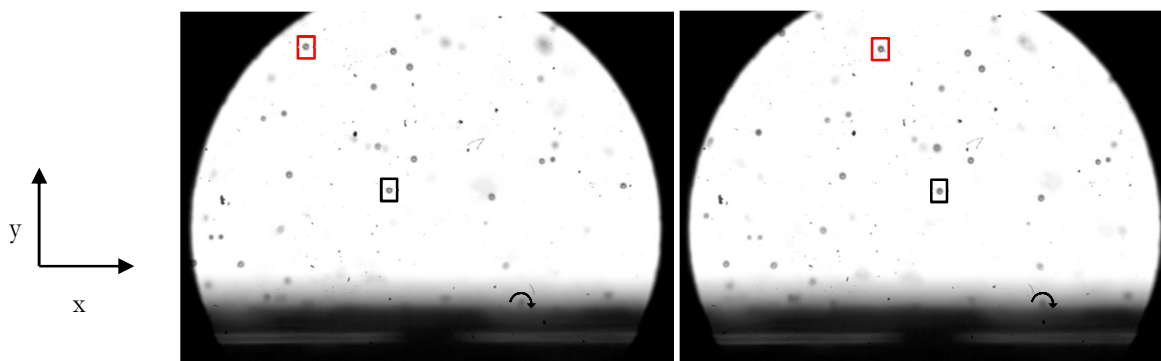


FIG. 1 – Exemples d'images obtenues par la caméra rapide. Le pas de temps = 10ms. Suspension de particules de verre 38-45 μ m, à 0.01% en volume de particules, vitesse moyenne du liquide = 5.5cm/s.

3.1 Effet de la concentration des particules sur leurs comportements dans la cellule

Outre l'écoulement global longitudinal, les particules solides peuvent s'accumuler sur la cathode en une ou plusieurs couches. Les particules ont tendance à rouler ou à glisser sur la surface de la cathode. La concentration en particules influence les conditions d'écoulement au voisinage de la surface. Dans les suspensions diluées, les particules suivent principalement l'écoulement global, alors qu'en suspensions concentrées, de fortes interactions entre les particules et la cathode ont été observées : la vitesse longitudinale des particules a tendance à décroître pour de fortes concentrations de particules comme le montre la figure 2.

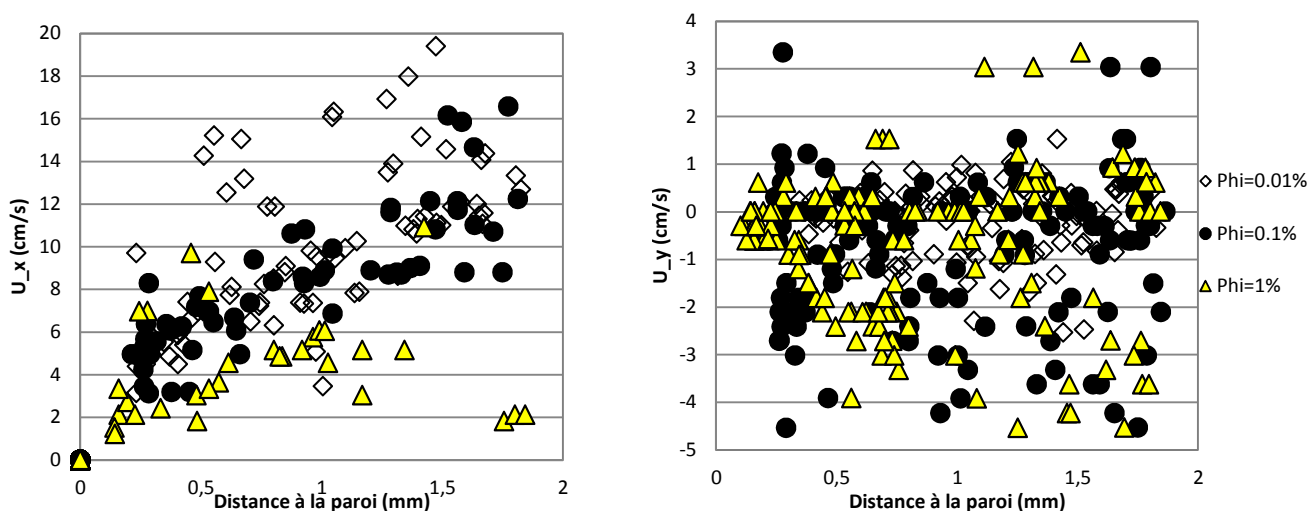


FIG. 2 – Profils de vitesse longitudinale et axiale des particules de verre en fonction de la concentration des particules à une vitesse de fluide égale = 11cm/s.

Par contre, concernant la vitesse transversale des particules solide (U_y), aucune vraie tendance ne peut être tirée des courbes obtenues, la vitesse semble ne pas dépendre de la concentration des particules solides.

3.2 Effet de la vitesse du liquide sur le comportement des particules dans la cellule

Les profils de vitesse longitudinale des particules en fonction de la vitesse du fluide à une concentration de particules solides égale à 0.1% en volume, donnés sur la figure 3, montrent que les particules suivent en général le fluide. A forte vitesse, les particules sont très agitées et ont tendance à suivre des mouvements aléatoires comme le confirme le profil de des vitesses axiales.

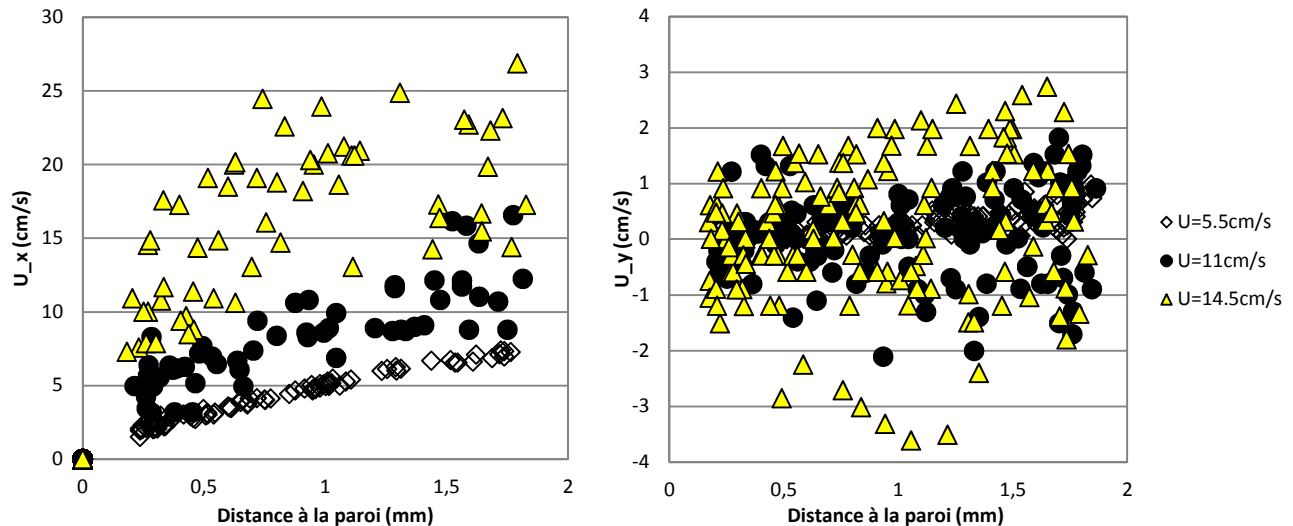


FIG. 3 – Profils de vitesse longitudinale et axiale des particules de verre en fonction de vitesse du fluide à une concentration de particules égale = 0.1%.

4 Conclusion

Pour des suspensions diluées et pour de faibles vitesses de fluide, les particules ont tendance à être entraînées par le fluide. A fortes concentrations de particules, les interactions entre celles-ci augmentent ce qui engendre une diminution de leur vitesse ce qui privilégie l'accumulation des particules sur la paroi inclinée.

D'autres travaux sont en cours pour améliorer la conception du processus et de mieux comprendre les phénomènes survenant près de la paroi solide dans la cellule.

Références

- [1] Allanore A., Etude expérimentale de la production de fer électrolytique en milieu alcalin: mécanisme de réduction des oxydes et développement d'une cellule, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2007.
- [2] Allanore A., Lavelaine H., Valentin G., Birat JP. and Lapicque F., Iron metal production by bulk electrolysis of iron ore particles in aqueous media, Journal of the Electrochemical Society, 155, Issue 9, E125-E129, 2008.