

## COMPORTEMENT D'UNE PARTICULE DANS UN TUBE À ESSAI AGITÉ PAR UN VORTEX

M. Fischer\*<sup>1</sup>, S. Chakravarty<sup>1</sup>, O. Le Bihan<sup>3</sup> et M. Morgeneyer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Technologie de Compiègne (UTC) Sorbonne Universités, Laboratoire Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable (TIMR), Rue Roger Couttolenc, CS 60319, 60203 Compiègne Cedex, France

<sup>2</sup>Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), NOVA/CARA/DRC/INERIS, Parc Technologique Alata, BP2, F-60550 Verneuil-En-Halatte, France

\*Courriel de l'orateur : [marc.fischer@utc.fr](mailto:marc.fischer@utc.fr)

### TITLE

**Behaviour of a particle in a test tube agitated by a vortex-shaker**

### ABSTRACT

Pour étudier la pulvéulence des poudres, l'utilisation d'un agitateur vortex s'avère être efficace. La position d'une particule d'alumine dans un tube à essai agité a été suivie par la technique PEPT (Positron Emission Particle Tracking). Les densités de population ont été approximées comme étant la fréquence de la présence de la particule dans différentes régions du tube. La vitesse de la particule a été calculée après avoir éliminé tous les déplacements inférieurs à une distance critique  $d_{crit}$  afin de ne pas considérer les faux mouvements causés par le bruit d'acquisition. Après sa validation, la méthodologie fut appliquée aux conditions standards d'une expérience avec l'agitateur vortex ( $\omega = 1500$  rpm, 2 g de poudre et tube à essai ouvert). Les coordonnées et la vitesse horizontales sont caractérisés par une distribution symétrique tandis que la coordonnée verticale est caractérisée par un large plateau asymétrique. Les hauteurs atteintes par la particule (jusqu'à 24.3 mm) sont petites en comparaison à celle du tube à essai (150 mm). Les vitesses les plus grandes se trouvent près de la paroi du tube à essai et aux hauteurs les plus élevées où la densité de population est la plus basse. La méthode présentée dans ce travail est directement applicable à tout autre jeu de données obtenu avec la technique PEPT, particulièrement si le système est de petite taille.

### RESUME

Vortex-shakers prove to be efficient devices for studying the dustiness of powders. The position of an alumina particle in an agitated test tube has been followed by PEPT (Positron Emission Particle Tracking). Population densities were computed as the frequency of the particle's presence in different regions of the test tube. The velocities of the particle were calculated by filtering out all displacements inferior to a critical distance  $d_{crit}$  so as not to consider spurious movements caused by experimental noise. After its validation, the methodology was applied to the standard condition of a vortex shaker experiment ( $\omega = 1500$  rpm, 2 g of powder and open test tube). While the horizontal coordinates and velocity components follow a symmetric distribution, the vertical coordinate is characterised by a large asymmetrical plateau. The heights reached by the particle (up to 24.3 mm) are small in comparison to that of the test tube (150 mm). The greatest velocities are found near the inner wall of the test tube and at the highest heights where the population densities are the lowest. The method explicated in the present study is directly applicable to any other sets of data obtained through PEPT, especially if the system is of small dimension.

**KEYWORDS:** Dust, vortex-shaker, PEPT, powder / **MOTS-CLÉS :** poussière, agitateur vortex, PEPT, poudre.

### 1. INTRODUCTION

La pulvéulence des poudres peut être étudiée expérimentalement avec des appareils qui activent mécaniquement le système particulaire, soit par des chocs frontaux (comme le test de chute) soit par des rotations (comme dans le tambour rotatif ou l'agitateur vortex). Une des conditions nécessaires pour atteindre une meilleure compréhension théorique des émissions de poussières dans un testeur consiste en une bonne compréhension du mouvement d'une particule détachée de la poudre à l'intérieur du système. En effet, ces mouvements sont les causes de la génération d'aérosols à travers les chocs. Cette considération nous a amené à conduire ce travail où le mouvement d'une particule dans un tube à essai agité par un vortex a été suivi pendant des centaines de secondes. L'agitateur vortex (Morgeneyer, 2015) est un dispositif permettant d'étudier la pulvéulence de poudre en ne nécessitant qu'une masse de 2 g considérablement moindre que celle requise par d'autres testeurs tels que le test de chute. Ce dispositif est relativement bon marché et facile à opérer. Il semble être une méthode prometteuse pour mesurer la pulvéulence de poudres cohésives fines (Le Bihan, 2014).. Nous avons utilisé la technique PEPT ( Positron Emission Particle Tracking) (Seville, 2010) pour suivre une particule radioactive (Parker, 1997). Notre intention était d'étudier le mouvement de particules de calcaires ( $\text{CaCO}_3$ ). Cependant, il n'a pas été possible de les marquer radioactivement. Par conséquent, nous avons étudiée à la place le mouvement d'une particule d'alumine posée sur la poudre de calcaire. Les caractéristiques des particules de calcaire (diamètre

entre 80  $\mu\text{m}$  et 150  $\mu\text{m}$ , densité égale à 2710  $\text{kg.m}^{-3}$ ) et de la particule d'alumine (diamètre entre 80  $\mu\text{m}$  et 150  $\mu\text{m}$ , densité égale à 2950  $\text{kg.m}^{-3}$ ) étaient semblables.

## 2. MÉTHODOLOGIE D'EXPLOITATION NUMÉRIQUE

$x$  et  $z$  sont les coordonnées horizontales,  $y$  et la coordonnée verticale. Les coordonnées absolues de la particule au début de l'expérience ne sont pas connues. Par conséquent, nous les avons défini de telle sorte que  $x = 0$  et  $z = 0$  correspondent aux valeurs médianes de  $x$  et  $z$  tandis que  $y = 0$  correspond à la plus basse hauteur de la particule qui a été mesurée durant le cours de l'expérience. Afin de calculer les vitesses et d'autres quantités basées sur les données brutes, il est nécessaire de faire une distinction entre les erreurs aléatoires dues aux limites du processus de mesure et les fluctuations de la position réelle de la particule. Pour ce faire, la particule a été tracé dans un tube à essai non-agité et fermé (c.a.d  $\omega = 0$  rpm). Si la diffusion des particules dans une poudre cohésive dont les diamètres aérodynamiques sont supérieurs à 50  $\mu\text{m}$  peut être négligée, les erreurs aléatoires devraient être la seule cause de tout changement observé. Dans la Figure 1, la pseudo-trajectoire est représentée dans l'espace.

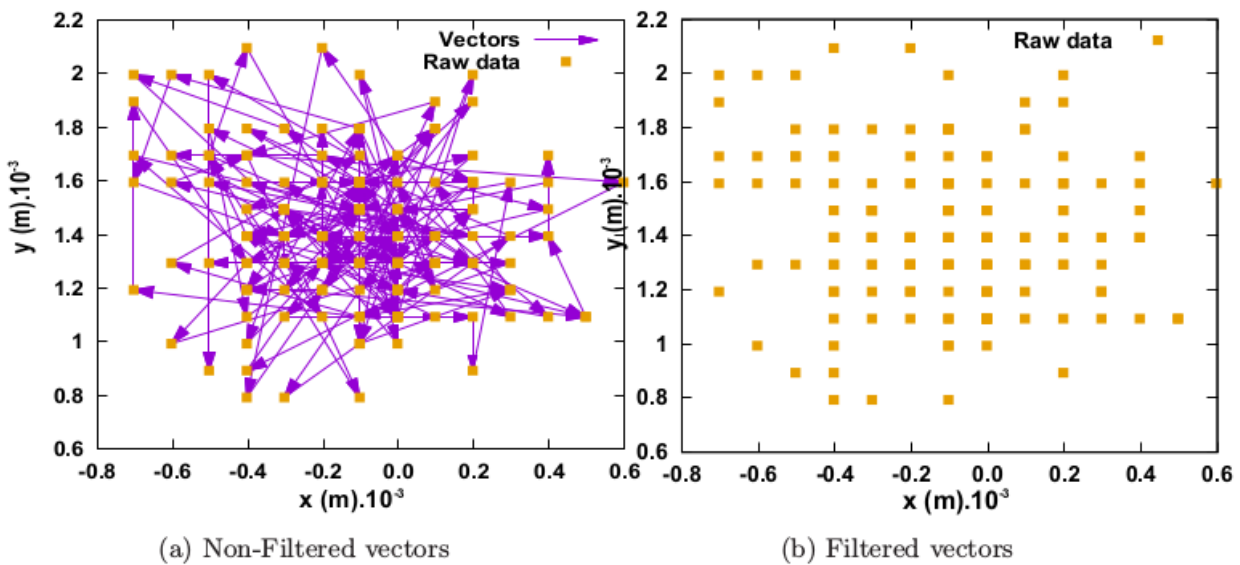


Figure 1: Pseudo-trajectoires durant l'essai stationnaire

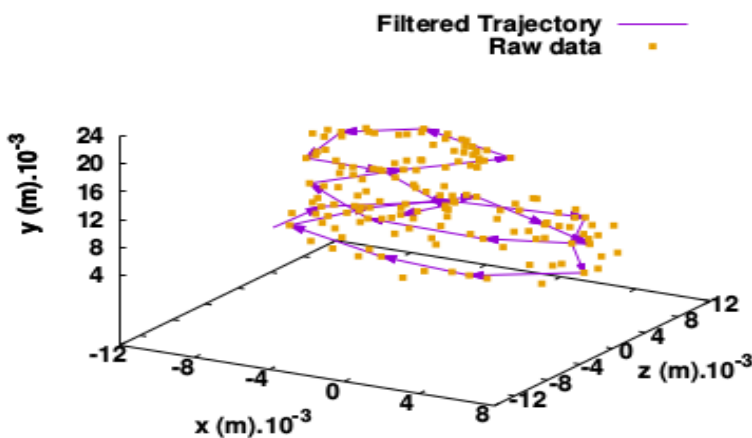


Figure 2: Trajectoire de la particule pendant 2 s

Il est clair que les erreurs de mesures causent des oscillations chaotiques rapides des valeurs qui ne reflètent pas un mouvement réel. Par conséquent, il n'est pas possible de définir les vitesses localement car une particule immobile aurait alors de très hautes vitesses fluctuant sans cesse. Cela nous a amené à définir une distance critique ( $d_{crit}$ ) de telle sorte que tous les déplacements qui lui sont inférieurs soient ignorés. Comme on peut voir sur la Figure 1, un tel filtrage élimine tous les pseudo-mouvements lorsque la particule est au repos. Dans la Figure 2, la trajectoire de la particule durant un essai non-stationnaire ( $\omega = 1500$  rpm)

est représentée. De tels mouvements circulaires ascendants et descendants peuvent être observés durant toute l'expérience.

Ensuite, nous avons défini les densités de population sont comme la fréquence avec laquelle la particule se trouve dans un volume donnée. Étant donné que la particule est étudiée pendant une longue période (700 s) par rapport à ses mouvement rapides (durant moins de 100 ms), les densités de population temporelles obtenues de cette manière sont une bonne approximation des densités réelles des particules de poudres (c'est à dire le pourcentage de particules de poudres présentes à un instant donné). Les fréquences des différents niveaux de vitesse ont également été calculées.

### 3. RÉSULTATS

L'ensemble de nos résultats est décrit dans une récente publication (Chakravarty, 2017). Les densités de population et les fréquences de  $x$ ,  $V_x$ ,  $z$  et  $V_z$  sont symétriques par rapport à 0. Par contre, la densité de population par rapport à  $y$  est caractérisée par une montée progressive, un plateau entre 6 et 18 mm et une descente abrupte vers les plus fortes hauteurs. La hauteur la plus élevée (25 mm) est largement inférieure à la hauteur du tube à essai (150 mm). Le lit de poudre occupe initialement 6 mm verticalement. L'expansion verticale de la poudre à travers la rotation du tube à essai peut donc être considérée comme limitée. La Figure 3 montre le mouvement instantané (pendant 7 secondes) et le mouvement moyen de la particule dans le plan vertical.

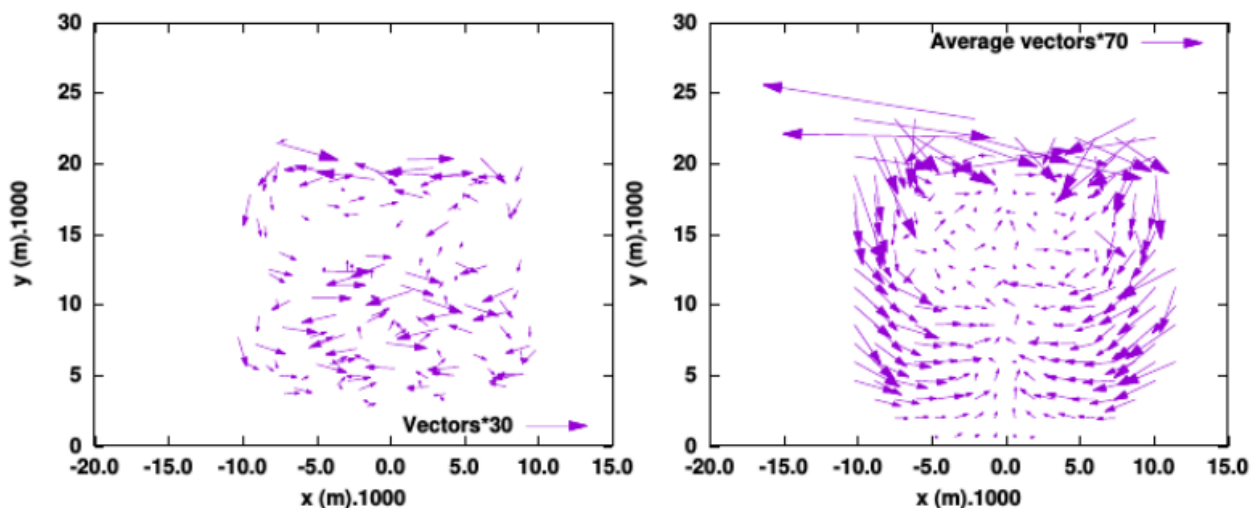
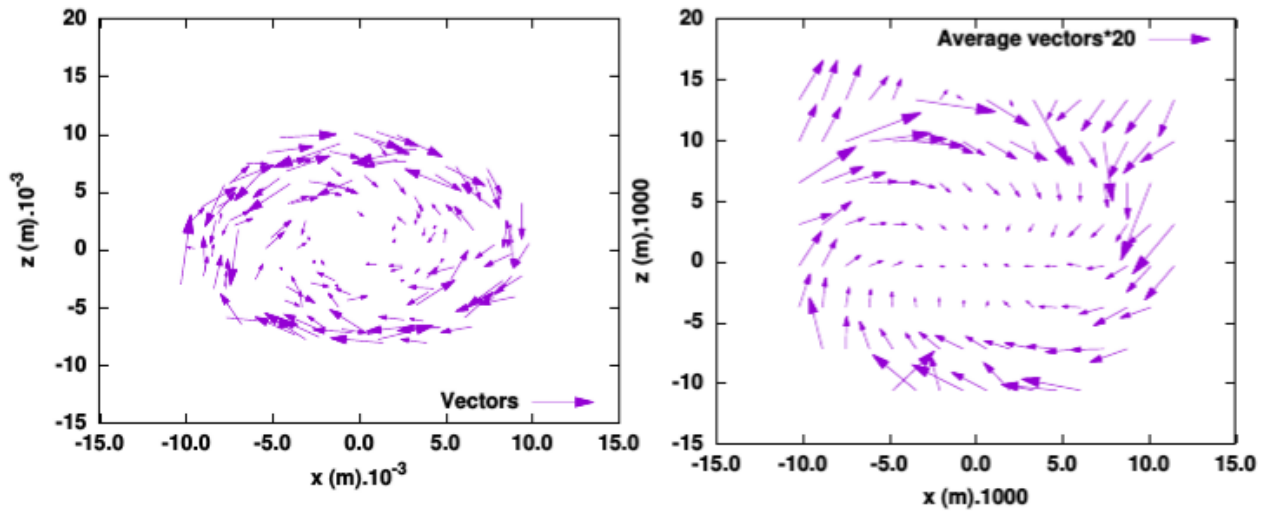


Figure 3: Mouvements instantanés et mouvements moyens de la particule dans le plan vertical. Moyennes produites par rapport au temps  $t$  et à la largeur  $z$ .

Tandis que le mouvement instantané de la particule a une allure relativement chaotique, le mouvement moyen est bien plus structuré. En moyenne, la particule a tendance à gagner de la hauteur au milieu du tube à essai (avec de faibles vitesses) et à en descendre près des parois avec une vitesse beaucoup plus élevée. Une visualisation du mouvement dans le plan horizontal révèle son caractère cyclique avec des vitesses plus faibles pour  $x = 0$  et  $z = 0$  (cf Figure 4).

### 4. PERSPECTIVES

Les résultats présentés ici nous semblent importants pour la compréhension théorique de la pulvéulence liée à l'agitateur vortex. Des études de modélisation CFD (Computational Fluid Dynamics) (Stone, 2016) et FEM (Finite Element Methods) (Wangchai, 2016) sont en cours pour prédire le comportement instantané d'une particule ainsi que le comportement d'ensemble de la poudre. Une question ouverte concerne les causes des mouvements observés. Les mouvements cycliques peuvent être dus à l'influence du courant gazeux sur les particules, à un transfert d'énergie direct de la paroi vers les particules et à des collisions inter-particulaires ou bien à une combinaison de ces deux facteurs.



(c) Local vectors with respect to  $x$  and  $z$

(d) Average vectors with respect to  $x$  and  $z$

Figure 4: *Mouvements instantanés et mouvements moyens de la particule dans le plan horizontal. Moyennes produites par rapport au temps  $t$  et à la hauteur  $y$ .*

Morgeneyer, M., Le Bihan, O., Ustache, A., & Aguerre-Chariol, O. (2013). Experimental study of the aerosolization of fine alumina particles from bulk by a vortex shaker. *Powder technology*, 246, 583-589.

Bihan, O. L. C. L., Ustache, A., Bernard, D., Aguerre-Chariol, O., & Morgeneyer, M. (2014). Experimental study of the aerosolization from a carbon nanotube bulk by a vortex shaker. *Journal of Nanomaterials*, 2014, 7.

Seville, J. (2010). A single particle view of fluidization.

Parker, D. J., Dijkstra, A. E., Martin, T. W., & Seville, J. P. K. (1997). Positron emission particle tracking studies of spherical particle motion in rotating drums. *Chemical Engineering Science*, 52(13), 2011-2022.

Chakravarty, S., Fischer, M., García-Triñanes, P., Parker, D., Le Bihan, O., & Morgeneyer, M. (2017). Study of the particle motion induced by a vortex shaker. *Powder Technology*.

Stone, L. E., Wypych, P. W., Hastie, D. B., & Zigan, S. (2016). CFD-DEM modelling of powder flows and dust generation mechanisms-a review. In *12th International Conference on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation (ICBMH 2016)*, The (p. 417). Engineers Australia.

Wangchai, S., Hastie, D. B., & Wypych, P. W. (2016). The investigation of particle flow mechanisms of bulk materials in dustiness testers. *Particulate Science and Technology*, 34(2), 241-254.