



**HAL**  
open science

# Une nouvelle approche combinant l'apprentissage profond et la modélisation stochastique pour extraire les propriétés en 3D des écoulements multiphasiques à partir d'images de projection en 2D

Kassem Dia, Johan Debayle, Fabrice Lamadie

## ► To cite this version:

Kassem Dia, Johan Debayle, Fabrice Lamadie. Une nouvelle approche combinant l'apprentissage profond et la modélisation stochastique pour extraire les propriétés en 3D des écoulements multiphasiques à partir d'images de projection en 2D. Optique Normandie 2024, SFO, Jul 2024, Rouen, France. hal-04708967

**HAL Id: hal-04708967**

**<https://hal.science/hal-04708967v1>**

Submitted on 25 Sep 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# UNE NOUVELLE APPROCHE COMBINANT L'APPRENTISSAGE PROFOND ET LA MODÉLISATION STOCHASTIQUE POUR EXTRAIRE LES PROPRIÉTÉS EN 3D DES ÉCOULEMENTS MULTIPHASIQUES À PARTIR D'IMAGES DE PROJECTION EN 2D

Kassem DIA<sup>1,2</sup>, Johan DEBAYLE<sup>2</sup>, Fabrice LAMADIE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEA, DES, ISEC, DMRC, Univ Montpellier, Marcoule, France

<sup>2</sup> MINES Saint-Etienne, SPIN/LGF UMR CNRS 5307, 158 cours Fauriel, Saint-Etienne, France

fabrice.lamadie@cea.fr

## RÉSUMÉ

En raison de sa simplicité, mais aussi de ses performances, l'une des techniques les plus utilisées pour caractériser les écoulements gaz-liquide est l'imagerie directe. Cependant, l'efficacité des méthodes d'imagerie directe est étroitement liée à l'algorithme de traitement d'image utilisé. Dans cette communication, nous présentons un algorithme de traitement d'image basé sur le couplage entre la modélisation stochastique et l'apprentissage profond qui permet de récupérer les principaux paramètres géométriques 3D des bulles dans les écoulements gaz-liquide, y compris pour des écoulements complexes pour lesquels les algorithmes déterministes sont moins efficaces.

**MOTS-CLEFS :** *Imagerie; Écoulements à bulles; Caractérisation géométrique; Traitement d'images*

## 1. INTRODUCTION

Les colonnes à bulles sont des dispositifs couramment utilisés dans les industries chimiques et biochimiques. Elles ont fait l'objet d'une abondante littérature, décrivant des études expérimentales ou numériques [1, 2, 3] et ont conduit à de nombreux développements de techniques instrumentales, en particulier dans le domaine de l'imagerie directe et du traitement d'images. Les différents traitements d'images pouvant être utilisés dans ce cas peuvent être classés en deux catégories principales. Les méthodes déterministes reposent principalement sur la segmentation, la reconnaissance de motifs, et, plus récemment, sur l'apprentissage automatique pour caractériser les images [4, 5, 6]. Elles sont généralement rapides mais sont moins efficaces pour caractériser des écoulements complexes (densités de particules élevées, amas...). La deuxième famille, basée sur des approches stochastiques, utilise des modèles capables de générer un grand nombre d'images numériques. Ces modèles peuvent alors être optimisés par des fonctions de coût afin de converger vers les images réelles, et retrouvent alors les caractéristiques géométriques des particules observées [7, 8] y compris pour des densités d'objets importantes dans les images.

## 2. PRINCIPE DU NOUVEL ALGORITHME DE TRAITEMENT D'IMAGES ET RÉSULTATS

L'algorithme proposé repose sur une combinaison entre ces approches stochastiques et les méthodes d'apprentissage profond. Ses différentes étapes sont illustrées sur la figure 1. De façon simplifiée, un modèle stochastique 3D capable de prendre en compte des uniformités spatiales et des formes de particules complexes est créé puis utilisé pour générer numériquement des jeux conséquents d'images de projection 2D étiquetées avec leurs propriétés géométriques 3D correspondantes. Cet ensemble de données permet ensuite d'entraîner des réseaux neuronaux convolutionnels d'apprentissage profond qui deviennent alors capables de prédire les propriétés 3D souhaitées à partir d'images 2D.

Le nouvel algorithme a d'abord été évalué sur des images générées numériquement, où des propriétés 3D telles que la fraction volumique  $\Phi$ , la distribution en taille des particules (pour les sphères) ou la distribution de l'axe principal et du rapport d'élongation (pour les ellipsoïdes) ont été correctement

évaluées, même dans le cas d'images à très forte densité de particules. L'approche a été ensuite validée expérimentalement sur plusieurs cas : tout d'abord, sur une suspension de billes de PMMA calibrées de différentes tailles en mouvement dans une phase aqueuse isodense ; puis sur différents écoulements gaz/liquide (cf. Fig. 1). Dans tous les cas, les propriétés 3D d'intérêt ont été retrouvées à partir de simples images acquises en 2D depuis un seul axe optique.

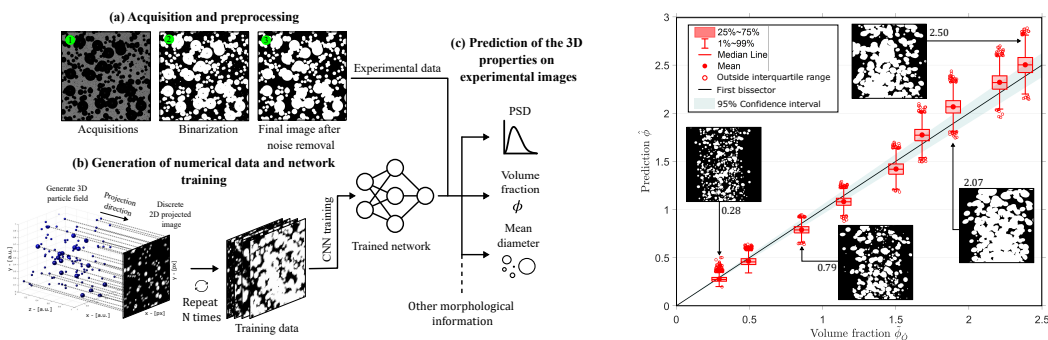


FIGURE 1 : Principe général de l'algorithme de traitement d'images - Exemple de résultats obtenus sur la mesure de la fraction gazeuse dans un écoulement gaz-liquide

## CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons démontré que le traitement d'images utilisant la modélisation stochastique constitue une alternative pertinente pour caractériser les écoulements complexes. Comparé aux algorithmes déterministes basés sur la reconnaissance de motifs, une telle approche permet de récupérer facilement et rapidement les caractéristiques géométriques moyennes de la phase dispersée. Les travaux futurs porteront sur la caractérisation de particules de formes plus complexes, notamment concaves.

## RÉFÉRENCES

- [1] R. A. Bello, C. W. Robinson, and M. Moo-Young, "Gas holdup and overall volumetric oxygen transfer coefficient in airlift contactors," *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 27, no. 3, pp. 369–381, 1985.
- [2] "Phenomenological model for bubble column reactors : prediction of gas hold-ups and volumetric mass transfer coefficients," *Chemical Engineering Journal*, vol. 78, no. 1, pp. 21–28, 2000.
- [3] "Simulation of a reacting gas–liquid bubbly flow with cfd and pbm : Validation with experiments," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 44, pp. 43–60, 2017.
- [4] R. Cerqueira, E. Paladino, B. Ynumaru, and C. Maliska, "Image processing techniques for the measurement of two-phase bubbly pipe flows using particle image and tracking velocimetry (piv/ptv)," *Chemical Engineering Science*, vol. 189, pp. 1–23, 2018.
- [5] M. de Langlard, H. Al-Saddik, S. Charton, J. Debayle, and F. Lamadie, "An efficiency improved recognition algorithm for highly overlapping ellipses : Application to dense bubbly flows," *Pattern Recognition Letters*, vol. 101, pp. 88–95, 2018.
- [6] Y. Fu and Y. Liu, "Bubgan : Bubble generative adversarial networks for synthesizing realistic bubbly flow images," *Chemical Engineering Science*, vol. 204, pp. 35–47, 2019.
- [7] W. Kracht, X. Emery, and C. Paredes, "A stochastic approach for measuring bubble size distribution via image analysis," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 121, pp. 6–11, 2013.
- [8] M. de Langlard, F. Lamadie, S. Charton, and J. Debayle, "A 3d stochastic model for geometrical characterization of particles in two-phase flow applications," *Image Analysis and Stereology*, vol. 37, no. 3, pp. 233–247, 2018.