

Sujet de thèse : Etude expérimentale de la dynamique de bulles à très hauts nombres de Reynolds

Laboratoire : Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels (LEGI)

Période : octobre 2022 – septembre 2025

Encadrement : Regiane Fortes Patella et Nathanaël Machicoane

Mots clés : écoulements turbulents diphasiques, bulles, suivi de particules

Contacts : regiane.fortes-patella@univ-grenoble-alpes.fr
nathanael.machicoane@univ-grenoble-alpes.fr

1) Contexte :

Les écoulements diphasiques dispersés à hauts nombres de Reynolds sont présents dans différentes applications, notamment dans les domaines des énergies traditionnelles et renouvelables (nucléaire, hydraulique), dans les domaines du transport aérospatial (moteurs de fusée), de la thermique et de l'hydraulique industrielle. Dans le cadre de deux thèses précédentes [1,2] menées lors des collaborations avec le CNES et la Snecma (Ariane Group), une boucle d'essais hydro-acoustique a été mise en place au **CREMHyG** (Centre de Recherche et d'Essais de Machines Hydrauliques de Grenoble) avec l'encadrement scientifique du **LEGI**. Ce banc d'essais, dont une configuration est illustrée dans la Figure 1, visait initialement à l'amélioration des méthodes de modélisation et de caractérisation du comportement hydraulique des moteurs de fusée à ergols liquides [3,4]. En complément aux études appliquées, l'installation expérimentale, ainsi que les outils de mesure existants, permettent également des recherches fondamentales ayant comme objectif l'approfondissement de la connaissance des écoulements diphasiques à hauts nombres de Reynolds. Cette thèse expérimentale bénéficiera de ces moyens d'essais uniques et du savoir-faire du laboratoire sur des techniques de mesures avancées en milieu diphasique. La mise en place d'une base de données expérimentale détaillée présente un intérêt majeur en vue du processus de validation des outils de modélisation physique et de simulation numérique développés dans le domaine des écoulements diphasiques turbulents.

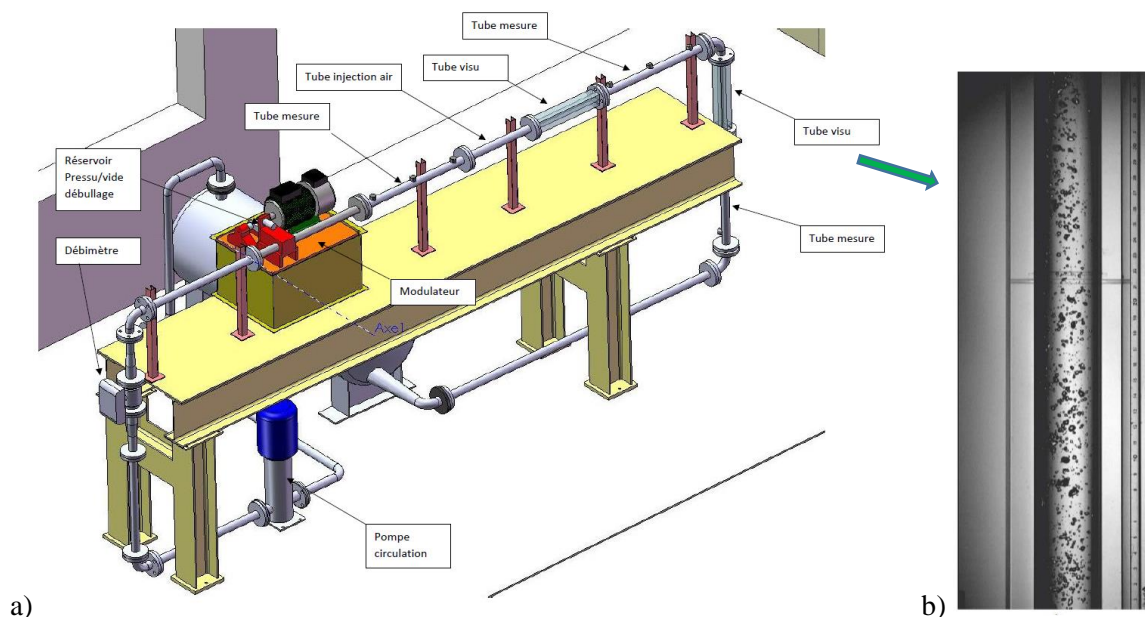


Figure 1 : a) Schéma du banc d'essais existant et qui sera utilisé dans le cadre de la thèse ;
b) Visualisation d'écoulement diphasique eau/air ($Re \sim 10^5$)

2) Objectifs scientifiques :

- Etablissement des régimes de bullage en fonction des paramètres d'injection d'air (taux de vide, type d'injecteur) et des conditions de fonctionnement de l'installation hydraulique (débit et pression dans la ligne).
- Caractérisation de la dynamique des bulles (statistiques de vitesse et d'accélération), en démêlant les effets de vitesse de glissement et taille/forme des bulles, afin d'identifier précisément les paramètres sans dimension.
- Analyse de l'effet de la gravité, via l'étude d'une section d'essais horizontale et verticale, à la fois sur les régimes de bullages et sur la dynamique des bulles. Une attention particulière sera portée à la zone de l'espace des paramètres où les bulles et l'écoulement ont des vitesses de magnitudes proches (mais de signes opposées).
- Etude des effets collectifs sur la dynamique des bulles, à la fois sur les vitesses et accélérations, mais aussi sur la formation de zone de concentration préférentielle (clustering), en fonction particulièrement de la taille et forme des bulles.

3) Méthodes :

La thèse reposera sur des mesures globales et locales sur l'installation hydraulique, couplées à de l'imagerie à haute résolution spatiale et temporelle pour étudier la phase dispersée. Dans les conditions extrêmes où les bulles sont fortement déformées, le nombre de caméras requises devient plus important (4-5 typiquement) afin de pouvoir reconstruire correctement la forme de la bulle et sa dynamique. Dans tous les cas, l'analyse des données reposera essentiellement sur une approche Lagrangienne qui consiste à suivre la dynamique des bulles dans l'écoulement, pour étudier les statistiques de vitesse et d'accélération. En plus des connaissances en mécanique des fluides et analyses physiques/mécaniques, des compétences en traitement du signal et d'image seront fortement appréciées chez le(a) candidat(e).

4) Résultats attendus :

- Diagramme de phase des régimes de bullages en fonction des paramètres expérimentaux.
- Identification des paramètres sans dimension et lois d'échelles des statistiques de la dynamique de bulles déformées transportées par un écoulement à haut nombre de Reynolds.
- Caractérisation de l'importance des effets collectifs et de leur zone d'influence dans l'espace des paramètres.
- Modélisation associée, basée sur les données expérimentales et les mécanismes physiques observés.

Références :

- [1] Marie-Magdeleine Artem, « Caractérisation des fonctions de transfert d'organes hydrauliques en régimes cavitant et non-cavitant », Thèse G INP, 2013.
- [2] Simon Alexandre, « Etude de méthodes expérimentales d'identification et validation de modèles de simulation de fonctions de transfert de systèmes et de dispositifs amortisseurs », Thèse G INP, 2016.
- [3] Simon A., Martinez-Molina J.-J., Fortes-Patella R., 2016, "A new process to estimate the speed of sound using three-sensor method", *Experiments in Fluids*, vol. 57, n°1.
- [4] Simon A., Fortes-Patella R., Martinez Molina J. J., Kernilis A., Dehouve J., 2016, "Transfer function identification of POGO system device", *Space Propulsion 2016*, Rome, Italy.

Modalités d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant

Le(la) doctorant(e) disposera d'un bureau au LEGI et d'une salle d'expérimentation au CREMHyG, ainsi qu'un ordinateur personnel pour l'analyse des données, l'accès à la bibliographie et les ressources en ligne, et la publication des résultats. L'encadrement sera réalisé par Regiane Fortes Patella et Nathanaël Machicoane au quotidien. Les exigences de formations doctorales et de bilans annuels seront respectées.

Regiane Fortes Patella sera le directeur de la thèse, et Nathanaël Machicoane, ne détendant pas l'HDR, co-encadrant. L'environnement collaboratif, avec deux équipes de recherches du LEGI impliquées, bénéficiera en outre au(à la) doctorant(e), en particulier via les réunions/présentations d'équipe et les séminaires de laboratoire.

Thématique

Transport d'une phase dispersée à hauts nombres de Reynolds

Domaine

Mécanique des fluides

Conditions scientifiques matérielles (conditions de sécurité spécifiques) et financières du projet de recherche

Le laboratoire dispose de tout le matériel nécessaire pour réaliser les mesures, et le dispositif expérimental est déjà présent. Les services techniques dédiés aux expériences du LEGI et du CREMHyG apporteront un support technique, ainsi que des formations.

Ouverture Internationale

Conférences internationales (ICFM 2023, Japon, APS DFD 2024, USA). Comparaison avec des mesures effectuées pour des petites bulles sphériques par le groupe de Detlef Lohse (Pays-Bas).

Collaborations envisagées

Rui Nui (John Hopkins University, USA), notamment sur la méthodologie expérimentale de la reconstruction 3D de grosses bulles déformables.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Publications dans des journaux scientifiques internationaux (rang A). Conférences nationales (GdR TRANSINTER et NS2.0 en particulier) et internationales.

Profil et compétences recherchées :

Etudiant ayant une solide formation en mécanique des fluides et un goût prononcé pour la recherche expérimentale. Les différentes techniques expérimentales nécessitent des alignements précis et le développement d'algorithmes pour traiter les images. La quantité de données générées est grande, il est donc souhaitable d'être familier aux outils de traitement de données.

Bourse de thèse :

Demande faite auprès de l'École doctorale Ingénierie - Matériaux, Mécanique, Environnement, Énergétique, Procédés, Production (ED I-MEP²) pour un contrat doctoral de 3 ans (confirmation de financement attendue pour début juin 2022).