

PROPOSITION DE STAGE – MASTER 2 DET

Dynamique des fluides, Énergétique et transferts

Université Toulouse 3 Paul Sabatier - Toulouse INP - INSA Toulouse - ISAE SUPAERO – IMT Mines Albi

Titre : Conception d'un microsystème permettant la concentration de microalgues

Responsable(s) : MAGAUD Pascale, Mdc, ICA, pascale.magaud@iut-tlse3.fr, 05 61 17 11 02
LARTIGES Bruno, Pr, GET, bruno.lartiges@get.omp.eu, 05 61 33 30 97
BALDAS Lucien, Pr, ICA, lucien.baldas@insa-toulouse.fr, 05 61 17 11 01

Lieu du stage : Institut Clément Ader, 3, rue Caroline Aigle, 31400 TOULOUSE

Durée / période : 5 mois de février à juin 2023

Candidature [CV, lettre de motivation, références] à envoyer à : lucien.baldas@insa-toulouse.fr, pascale.magaud@iut-tlse3.fr et bruno.lartiges@get.omp.eu

Sujet

1) Contexte et motivation

Dans le contexte du développement de nouvelles sources d'énergies plus durables et décarbonées, la production de biocarburants pour remplacer les combustibles fossiles est une voie d'avenir. Les premières et deuxièmes générations de biocarburants étaient basées sur des cultures végétales, ce qui a entraîné une concurrence pour les terres arables entre les secteurs de l'alimentation animale et de l'énergie. À cet égard, la troisième génération de biocarburants, basée sur les microalgues, est prometteuse et présente de nombreux avantages [1]. En raison de leur grande variété d'espèces et d'origines, les microalgues sont adaptées à un large éventail de zones et de climats et notamment au milieu marin, évitant ainsi l'occupation de terres arables. Le stockage élevé des lipides et le taux de croissance permettant de faire plusieurs récoltes en une année, donnent aux microalgues l'un des taux de production les plus élevés par rapport aux autres cultures. De surcroît, les microalgues phototrophes réalisent la photosynthèse par l'intermédiaire des pigments chlorophylliens, utilisant la lumière comme source d'énergie et le CO₂ comme source de carbone pour synthétiser des molécules organiques telles que le glucose, les lipides et l'amidon. La culture des microalgues peut ainsi également contribuer à réduire l'empreinte carbone du secteur de la production d'énergie.

La valorisation des cultures algales est largement dépendante des étapes de concentration et de récolte, préliminaires aux étapes de transformation en biocarburant ou en biogaz. Il s'agit de passer d'une concentration en microalgue d'environ 1g/L dans les conditions de culture à une concentration de l'ordre de 100g/L par exemple pour la méthanisation. Les principales technologies actuellement disponibles pour la récolte des microalgues (la centrifugation, la floculation, la filtration et le criblage, la sédimentation par gravité, la flottation et les techniques d'électrophorèse) nécessitent toutes de grande quantité d'énergie. Or, dans une optique de mise en place de procédés bas carbone, il est indispensable que ces étapes préliminaires soient réalisées au plus faible coût énergétique possible sans compromettre la vitalité de la culture. La concentration des microalgues est un donc un verrou à l'utilisation de leur culture pour le stockage du CO₂ et la production de biogaz.

On sait depuis Poiseuille en 1836 [2] que des particules en écoulement dans des micro-canaux peuvent migrer vers des positions d'équilibre spécifiques où elles se concentrent. Ce phénomène de migration appelé focalisation inertielle est dépendant de la géométrie du canal. Di Carlo a mis en évidence en 2007 [3] que dans un canal droit de section carrée, des particules sphériques se concentraient sur quatre positions d'équilibre localisées à proximité du centre des parois du canal (Fig.1a). Dès lors, il apparaît que la focalisation inertielle présente un important potentiel applicatif pour des opérations de concentration, détection et/ou de tri de particules et pourrait être utilisée pour la concentration des cultures de microalgues.

L'équipe microfluidique de l'ICA s'intéresse depuis 2011 à l'analyse expérimentale du phénomène de migration inertielle de particules sphériques inertes dans le contexte collaboratif d'un projet de la Fédération FERMaT. Elle a développé des outils expérimentaux basés sur la microscopie (Fig. 1.b) et le traitement d'images (Matlab) qui ont permis l'obtention de résultats originaux sur la migration latérale de particules sphériques et non-sphériques dans des écoulements faiblement

et modérément inertiels en micro-canaux droits de sections carrées ([4], [5], [6], [7]). Elle souhaite à présent mettre à profit l'approche expérimentale et les compétences développées pour étendre ses travaux à l'étude du transport de microalgues en vue de leur concentration. Elle s'appuiera pour cela sur les connaissances de Bruno Lartiges, chercheur en physicochimie au GET (Géosciences Environnement Toulouse) qui s'intéresse aux phénomènes régissant la stabilité des microalgues en suspension.

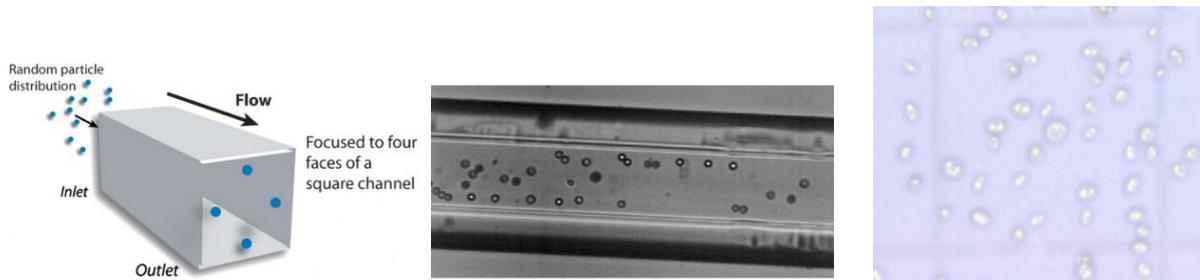


Fig.1 : a. Focalisation inertielle dans un micro-canal de section carrée, d'après Di Carlo [3]. b. Particules sphériques de $8\mu\text{m}$ de diamètre en écoulement dans un canal droit de section $80\mu\text{m} \times 80\mu\text{m}$, d'après Gao [5]. c. Image de *Chlorella vulgaris* au microscope $\times 40$.

2) Objectifs

L'objectif du présent projet est de concevoir un microsystème basé sur la focalisation inertielle permettant la concentration de microalgues de type *Chlorella vulgaris*. Des expériences préliminaires faites à l'ICA avec des souches de *Chlorella vulgaris* (Fig. 1.c) en écoulement dans un micro-canal droit de section carrée ont confirmé leur migration vers 4 spots proches de ceux représentés sur la figure Fig. 1.a et constituent la preuve du concept. Il s'agit à présent de déterminer les conditions d'écoulement (longueur et section des micro-canaux, débit de l'écoulement) permettant d'optimiser le phénomène de migration inertielle des microalgues de type *Chlorella vulgaris*. Ce travail s'appuiera sur les outils expérimentaux déjà développés à l'ICA. Cette étape permettra ensuite de concevoir un microsystème répondant aux conditions de focalisation optimales et permettant la récolte des microalgues concentrées (canal droit mono-entrée et multi-sorties).

Les résultats obtenus pendant le stage de Master permettront de fabriquer, puis de tester un prototype de microsystème de concentration et d'en évaluer la dépense énergétique. Ils pourront contribuer à plus long terme, au développement d'une technologie innovante et peu énergivore permettant la concentration de volumes importants de microalgues par multiplication et parallélisation du prototype développé.

3) Programme prévisionnel du stage de Master

- Synthèse bibliographique
- Adaptation du banc expérimental existant à l'analyse des écoulements de microalgues
- Campagne expérimentale – microalgues *Chlorella vulgaris* en écoulement dans des microcanaux droits de section carrée ; identification des conditions de focalisation optimales (longueur et section des micro-canaux, débit de l'écoulement)
- Conception d'un microsystème répondant aux conditions de focalisation optimales et permettant la récolte des microalgues concentrées
- Synthèse (rédaction bilan)

Références

- [1] Zabed, H. M. Recent Advances in Biological Pretreatment of Microalgae and Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 105, 105–128.
- [2] Poiseuille J (1836) Observations of blood flow. *Ann Sci Nat STrie* 5
- [3] Di Carlo D, Irimia D, Tompkins RG, Toner M (2007) Continuous inertial focusing, ordering, and separation of particles in microchannels *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:18892-18897
- [4] Abbas M, Magaud P, Gao Y, Geoffroy S (2014), Migration of finite sized particles in a laminar square channel flow from low to high Reynolds numbers *Physics of Fluids*, 26:123301
- [5] Gao, Y.; Magaud, P.; Baldas, L.; Wang, Y. (2021) Inertial Migration of Neutrally Buoyant Spherical Particles in Square Channels at Moderate and High Reynolds Numbers. *Micromachines*, 12, doi.org/103390.
- [6] Gao, Y.; Magaud, P.; Lafforgue, C.; Colin, S.; Baldas, L. (2019) Inertial Lateral Migration and Self-Assembly of Particles in Bidisperse Suspensions in Microchannel Flows. *Microfluid Nanofluid*, 23, 93
- [7] Tohme T, Magaud P, Baldas L, (2021) Transport of Non-Spherical Particles in Square Microchannel Flows: A Review . *Micromachines*, 12(3), 277.