



Ecole Doctorale no. 353  
Sciences pour l'ingénieur :  
Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique

**Titre en français :** Caractérisation optique sur puce microfluidique des suspensions colloïdales

**Titre en anglais :** Microfluidic lab-on-a-chip characterization of colloidal suspensions

**Nom du directeur de thèse :** Fabrice Onofri (Directeur de Recherche au CNRS)

Tel : 07 68 48 12 95

E-Mail : fabrice.onofri@univ-amu.fr

**Laboratoire :** IUSTI, UMR 7343 AMU-CNRS

**Financement :** acquis

**Financial support :** *already obtained*

**Type de financement :** bourse AMU financée par un programme d'investissements d'avenir

**Type of support :** *PhD grant from Aix-Marseille University supported by a PIA program*

### **Résumé en français :**

Les laboratoires sur puce (*lab-on-a-chip*, LOC) sont des dispositifs miniaturisés permettant différentes opérations et diagnostics, de façon intégrée et reproductible, d'échantillons de petite dimension [1-4]. Actuellement, les opérations réalisées vont du mélange de fluides immiscibles, pour la génération de gouttes calibrées, à la cristallisation ou polymérisation de composés complexes, alors que les diagnostics vont de la spectrométrie d'absorption à la mesure du PH ou le comptage de cellules pour les analyses biomédicales par exemple.

Ce sujet de thèse vise au développement de systèmes microfluidiques intégrant de nouveaux diagnostics optiques pour la caractérisation de la taille, la morphologie et la concentration de particules et agrégats en suspension, et pas simplement leur comptage. Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre d'un projet plus large, mené par un consortium rassemblant différents laboratoires de recherche et industriels, soutenu par un programme d'investissements d'avenir (PIA) du gouvernement français. Ce PIA porte sur le développement de solutions microfluidiques pour une R&D accélérée sur les procédés de recyclage, la valorisation des déchets et matières radioactives, la proposition d'alternatives au stockage géologique profond.

Cette thèse de doctorat comprendra quatre parties. Dans la première, il s'agira d'étendre les travaux préliminaires [5], conduits par le laboratoire IUSTI et ses partenaires, sur la spectrométrie d'extinction UV-NIR [6]: conception et design d'une tête optique déportée et campagne de mesures sur suspensions modèles. Aucun produit ou matériel radioactif ne sera utilisé durant cette thèse qui vise à une démonstration de principe uniquement. De même les applications envisagées ne seront pas limitées au recyclage. Dans une seconde partie, le doctorant et ses encadrants s'attaqueront au développement et à la validation de puces photoniques basées sur le principe de la diffusion multiangulaire de la lumière, l'analyse du facteur de structure, des zones de Guinier et fractales [7]. Des approches complètement intégrées (fibres optiques) et avec tête optique déportée seront testées. Dans une troisième partie, la possibilité d'implanter un diagnostic laser basé sur la diffusion dynamique de la lumière (mouvement brownien) homodyne et croisée [8] sera étudiée, là encore avec une approche intégrée et une approche avec détection déportée. Ces trois premières étapes nécessiteront des développements mathématiques (calculs de diffusion, méthodes inverses) et logiciels (Matlab, Python) pour l'acquisition et le traitement des données, des travaux de conception et

d'instrumentation, mais aussi des campagnes de mesures. La dernière partie du travail sera focalisée sur la synthèse des résultats obtenus, leur publication et la rédaction du mémoire de thèse de doctorat. Ces travaux seront réalisés à Marseille, au sein du laboratoire IUSTI, avec quelques missions sur le site du CEA de Marcoule et le site du LGC à Toulouse. Le financement de la bourse de thèse est acquis pour une durée de 36 mois.

**Abstract in English :**

*Lab-on-a-chip (LOC) are miniaturized devices allowing various operations and diagnostics, in an integrated and reproducible way, of small size samples [1-4]. Currently, the operations performed range from mixing immiscible fluids, for the generation of calibrated drops for instance, to crystallization or polymerization of complex compounds, while the diagnostics range from absorption spectrometry to PH measurement or biological cells counting for biomedical analysis.*

*This Ph.D. thesis aims at developing microfluidic systems integrating new optical diagnostics for the characterization of the size, morphology and concentration of particles and aggregates in suspension, and not only their counting. This research work is part of a larger project, led by a consortium of different research labs and industries, supported by a French government investment program (PIA). This PIA program focuses on the development of microfluidic solutions for accelerated R&D on recycling processes, the recovery of radioactive waste and materials, and the proposal of alternatives to deep geological disposal.*

*This doctoral thesis will consist of four parts. In the first part, the preliminary work [5] carried out by the IUSTI laboratory and its partners on UV-NIR extinction spectrometry [6] will be extended: conception and design of a remote optical head and measurement campaign on model suspensions. No product or radioactive material will be used during this thesis which aims at a demonstration of principle only. Also, the applications considered in this thesis will not be limited to recycling. In a second part, the PhD student and his supervisors will tackle the development and validation of photonic chips based on the principle of multi-angular light scattering, the analysis of the structure factor, the Guinier and fractal zones [7]. Fully integrated (fiber optics) and remote optical head approaches will be tested. In a third part, a laser diagnosis based on auto- and cross-correlated dynamic light scattering (Brownian motion) approaches [8] will be studied, again with both integrated and remote detection approaches. These first three steps will require (i) mathematical developments (light scattering calculations, implementation of inverse methods) and (ii) software (Matlab, Python) for data simulation, acquisition and processing; (iii) optical & mechanical design as well as instrumentation work; but also (iv) measurement campaigns. The last part of the thesis work will be focused on the synthesis of the obtained results, their publication, and the writing of the Ph.D. thesis. This work will be carried out in Marseille, in the IUSTI laboratory, with some missions on the CEA site in Marcoule and the LGC site in Toulouse. The financing of the thesis grant is already acquired for a period of 36 months.*

**Profil du candidat recherché :** un étudiant avec un Master 2 ou diplôme d'ingénieur, avec une formation en optique, en physique et/ou mécanique des fluides.

**Candidate profile:** a student with a Master 2 or engineering degree, with a background in optics, physics and/or fluid mechanics.

**Date de début :** dès que possible

**Starting time:** as soon as possible

**Insertion professionnelle après thèse :** publique et/ou privée

**Professional insertion after thesis:** public and/or private

**Publications sur le sujet /Publications on the subject :**

- [1] N. Convery, N. Gadegaard, 30 years of microfluidics, *Micro and Nano Engineering*, 2 (2019) 76-91.
- [2] Jönsson, S. Senkbeil, J.P. Kutter, Recent advances in lab-on-a-chip for biosensing applications, *Biosensors and Bioelectronics*, 76 (2016) 213-233.
- [3] C.L. Kuyper, K.L. Budzinski, R.M. Lorenz, D.T. Chiu, Real-Time Sizing of Nanoparticles in Microfluidic Channels Using Confocal Correlation Spectroscopy, *Journal of the American Chemical Society*, 128 (2006) 730-731.
- [4] J.B. Edel, R. Fortt, J.C. deMello, A.J. deMello, Microfluidic routes to the controlled production of nanoparticles, *Chemical Communications*, (2002) 1136-1137.
- [5] F.R.A. Onofri, I. Rodriguez-Ruiz, F. Lamadie, Microfluidic lab-on-a-chip characterization of nano- to microparticles suspensions by light extinction spectrometry, *Opt. Express*, 30 (2022) 2981-2990.
- [6] S. Barbosa, F.R.A. Onofri, L. Couëdel, M. Wozniak, C. Montet, C. Pelcé, C. Arnas, L. Boufendi, E. Kovacevic, J. Berndt, C. Grisolia, An introduction to light extinction spectrometry as a diagnostic for dust particle characterisation in dusty plasmas, *Journal of Plasma Physics*, 82 (2016).
- [7] M. Sentis, F.R.A. Onofri, O. Dhez, J.-Y. Laurent, F. Chauchard, Organic photo sensors for multi-angle light scattering characterization of particle systems, *Opt. Express*, 23 (2015) 27536-27541.
- [8] L. Liu, X. Cai, J. Zhang, C. Xu, Particle-size Measurements in a Micro-channel with Image Dynamic Light Scattering Method, *Procedia Engineering*, 102 (2015) 904-910.

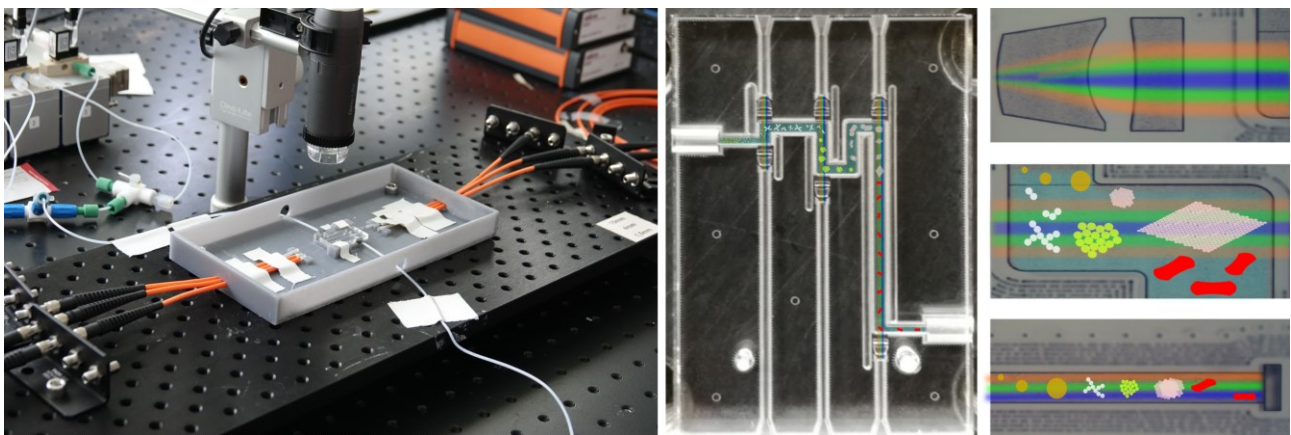


Figure 1 Photographies d'une puce microfluidique pour la caractérisation de nano- et micro-suspensions par extinction UV-NIR [5] / Photographs of a microfluidic lab-on-a-chip for the characterization of nano- and micro-suspensions by UV-NIR light extinction spectrometry