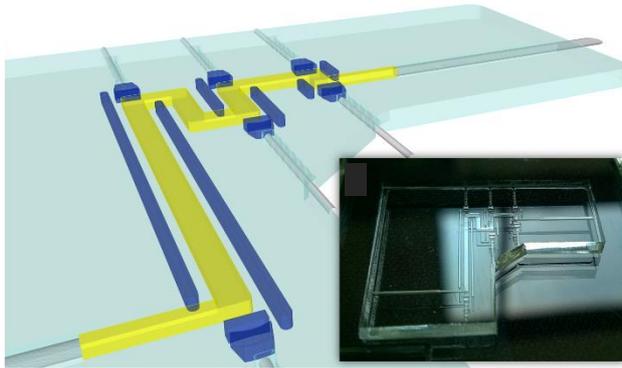


Proposition de sujet de post-doctorat

"Optofluidique intégrée sur puces en environnement nucléaire "



Contexte : Le projet proposé s'inscrit dans le cadre des travaux menés par le CEA autour des procédés actuels et futurs de traitement /recyclage des combustibles nucléaires usés. L'étude et le développement de ces procédés requièrent de nombreuses étapes depuis la conception en laboratoire jusqu'à la mise en œuvre à l'échelle industrielle. A toutes ces étapes, l'analyse et l'instrumentation sont des points clés. Pour des raisons scientifiques (étude à petite échelle,

maitrise des phénomènes, etc.) mais aussi pour des questions de minimisation des coûts, des risques et des déchets, ces développements sont de plus en plus fréquemment réalisés par les équipes du CEA sur des dispositifs milli/microfluidiques. Il en est logiquement de même pour l'analyse associée à leur suivi et à leur compréhension. De fait, le CEA Marcoule développe et conçoit depuis quelques années des dispositifs d'analyse sur des systèmes opto/microfluidiques adaptés aux différents procédés (dissolution, extraction liquide/liquide, précipitation, etc.) en cours d'étude. Les travaux de post-doctorat proposés s'inscrivent dans ce contexte.

Description du projet : La majorité des techniques mises en œuvre au CEA Marcoule repose sur des systèmes optofluidiques, intégrant des moyens de mesures optiques sur des dispositifs microfluidiques, la plupart étant issues de développements antérieurs [1]. Parmi les méthodes optiques évaluées à ce stade, on peut citer : la spectrophotométrie d'absorption [2,3], l'utilisation d'ondes évanescentes [4], les lentilles thermiques [5] ou encore la fluorescence. Toutes ces techniques présentent des avantages et des inconvénients, néanmoins, la spectrophotométrie d'absorption reste à ce jour la plus polyvalente et la plus efficace pour quantifier les espèces d'intérêt présentes en solution. A titre d'exemple, les premiers essais réalisés en dispositif microfluidique avec cette technique sur de l'uranium (VI) ont montré qu'il était possible de couvrir des gammes de concentration adaptées au suivi des procédés (de 0,1 à 200 g L⁻¹ d'uranium) avec uniquement 3 microlitres de solution. Ce projet de post-doctorat se propose d'approfondir ces premiers travaux à travers trois axes de développement:

L'axe « choix des techniques et des matériaux ». Les premiers essais ont été réalisés avec des puces en PDMS (Polydiméthylsiloxane) fabriquées à façon par les équipes du CEA [6] mais d'autres matériaux sont envisageables comme par exemple le verre (cf. la société FEMTOprint), le plexiglass (matériau travaillé en usinage par les équipes du CEA Saclay), etc. Le premier travail à réaliser sera un « benchmark » approfondi des avantages et inconvénients de ces différents matériaux en suivant une grille de comparaison intégrant les propriétés optiques (collimation des lentilles intégrées, transport de la lumière, etc.), la tenue aux

différents liquides (HNO_3 , solvant organique), l'exposition aux rayonnements ionisants aussi bien que la capacité à être utilisés facilement [7] en environnement hostile (boite à gants, etc.).

L'axe « traitement du signal et optimisation du design des puces ». A ce stade les seuls essais réalisés ont porté sur la mesure de l'U(VI) en solution aqueuse. Il ne s'agit évidemment pas de la seule espèce d'intérêt pour le suivi des procédés. Une fois le choix de la technologie arrêté, le deuxième travail sera donc d'étudier les performances de la spectrophotométrie d'absorption sur puce microfluidique pour les espèces U(IV), U(VI), Pu(IV), Pu(III), seules ou en mélange, en phase aqueuse (HNO_3) et en phase organique, sachant que ces éléments présentent de fortes interférences spectrales. A cette étape, les différentes méthodes de traitement et déconvolutions des spectres, développées par le CEA, devront être adaptées aux éventuelles spécificités d'une mesure sur dispositif microfluidique. Le couplage et l'intégration de la microanalyse aux systèmes microfluidiques permettant l'étude des différents procédés feront aussi partie des objectifs de cet axe de développement.

L'axe « intégration de composants optiques ». Le dernier point à étudier porte sur l'intégration complète des sources de lumière et des capteurs sur le dispositif optofluidique. Depuis quelques années les systèmes optofluidiques intègrent des miroirs, des lentilles ou encore des guides d'onde [8]. Plus récemment, des équipes ont montré qu'il était possible d'intégrer sur un même système une source de lumière, un guide d'onde et un détecteur [9]. Dans ce post-doctorat, l'intérêt et le potentiel de ces approches pour les enceintes confinées utilisées dans l'industrie nucléaire, seront examinés via une action de veille scientifique. Il s'agira d'identifier les travaux les plus prometteurs et d'ouvrir des collaborations avec les équipes de recherche concernées.

Ces trois axes devront être explorés en liens étroits avec les différentes équipes de Marcoule en charge de la R&D sur les procédés de séparation (dissolution, extraction liquide-liquide, précipitation) et les expériences se feront autant que possible autour des essais conduits par ces équipes.

Compétences recherchées : Docteur en science ou docteur-ingénieur, dans le domaine de la micro/milli fluidique, de préférence appliqué à l'analyse et à l'instrumentation. Le candidat devra avoir une solide formation en physique (optique), en instrumentation et une bonne maîtrise des outils microfluidiques, de leur utilisation et éventuellement de leur conception/fabrication. Idéalement, une connaissance plus spécifique en génie des procédés sera appréciée sans être indispensable. De bonnes compétences en communication sont requises afin de pouvoir valoriser les travaux via la participation à des conférences internationales ainsi que des publications.

Equipe d'accueil : Le laboratoire d'accueil est le Laboratoire de Génie Chimique et Instrumentation du CEA Marcoule (LGCI). Le LGCI réalise la conception, le développement ou la fiabilisation de technologies et de procédés en lien avec le cycle du combustible nucléaire. Parmi ces domaines de recherche on peut citer :

1. Le développement de technologies associées aux opérations unitaires de génie chimique: extraction liquide-liquide, séparation solide-liquide, dissolution/digestion, traitement thermique (calcination et fusion), traitement des gaz...
2. Le développement et/ou la nucléarisation de prototypes (appareils de génie chimique, microsystèmes, etc.) pour les études de R&D en environnement hostile.

3. La modélisation (génie chimique, mécanique des fluides, etc.) pour l'extrapolation de l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle.
4. Le développement d'instrumentation spécifique en support aux essais à petite échelle et à la modélisation.

Durée : 12 mois (renouvelable une fois).

Disponibilité : Octobre 2018.

Contact

Fabrice Lamadie (CEA/DEN/DMRC/SA2I/LGCI)	Fabrice Canto (CEA/DEN/DMRC/SA2I/LGCI)
CEA / Marcoule 30207 Bagnols-sur-Cèze Cedex Tel : +(33) 4 66796597/ Mèl : fabrice.lamadie@cea.fr	CEA / Marcoule 30207 Bagnols-sur-Cèze Cedex Tel : +(33) 4 66397161/ Mèl : fabrice.canto@cea.fr

Éléments bibliographiques

- [1] Marie C. et al., Complexation of Lanthanides(III), Americium(III), and Uranium(VI) with Bitopic N,O Ligands: an Experimental and Theoretical Study, *Inorganic Chemistry*, vol.50, 2011.
- [2] Rodriguez-Ruiz I. et al., Uranium (VI) on-chip microliter concentration measurements in a highly extended UV-Vis absorbance linearity range, *Analytical Chemistry*, vol.90, 2018.
- [3] Jardinier E. et al., Glass integrated nanochannel waveguide for concentration measurements, *SPIE proceedings*, vol.8627, 2013.
- [4] Geoffroy F. et al., Development of an opto-fluidic microsystem dedicated to chemical analysis in a nuclear environment, *Procedia Chemistry*, vol.21, 2016.
- [5] Canto F. et al., Microfluidics and integrated optics glass sensor for in-line microprobing of nuclear samples, *IEEE Transaction on Nuclear Science proceedings*, 2011.
- [6] Rodriguez-Ruiz I. et al., Broadcasting photonic lab on a chip concept through a low cost manufacturing approach", *Talanta*, vol.170, 2017.
- [7] Ackermann T.N. et al., Plug and measure – a chip-to-world interface for photonic lab-on-a-chip applications, *Lab on Chip*, vol.16, 2016.
- [8] Rodriguez-Ruiz I. et al., A multiple path photonic lab on a chip for parallel protein concentration measurements, *Lab on Chip*, vol.15, 2015.
- [9] Gonzalez-Fernandez A.A. et al., Monolithic Integration of a Silicon-Based Photonic Transceiver in a CMOS Process, *IEEE Photonics Journal*, vol.8, 2016.