

Sujet : Ecoulements segmentés en microsystemes pour la mise en œuvre de l'extraction liquide-liquide dans les protocoles d'analyse des radioéléments (référence *SL-DEN-15-0366* sur site *INSTN*)

Le domaine de la microfluidique se situe aux interfaces de l'ingénierie et de la chimie et vise à développer des systèmes de laboratoire-sur-puce. Un des enjeux essentiels de la microfluidique réside dans la possibilité de réaliser des réactions chimiques complexes au sein de micro-dispositifs tels les « lab on chip ». D'une manière générale, l'idée consiste à intégrer dans un dispositif miniaturisé toutes les fonctions nécessaires à l'analyse d'un échantillon : déplacement des fluides (pompage), gestion des flux, mélange, réaction, filtration, séparation, pré-concentration, contrôles thermiques et détection des espèces chimiques. Actuellement, les applications industrielles couvrent les domaines du diagnostic génétique et médical, de la pharmacie, de l'agro-alimentaire, de l'environnement mais peu d'études concernent le nucléaire [1].

L'analyse des radionucléides émetteurs beta ou alpha présents dans le combustible, des effluents ou des déchets de haute ou moyenne activité s'effectue selon des protocoles opératoires incluant l'enchaînement de plusieurs opérations de séparation/purification. Ces étapes nécessaires à l'obtention d'une fraction pure contenant le radioélément à analyser, sont basées sur les techniques de chromatographie, d'extraction liquide/liquide, de précipitation/dissolution. Le processus analytique est donc long, complexe et difficile à mettre en place dans un environnement hostile (BAG, ou cellule blindée).

C'est pourquoi le Laboratoire de développement Analytique Nucléaire, Isotopique et Élémentaire (LANIE) s'est engagé dans la conception d'outils d'analyses miniaturisés, simples d'utilisation, automatisables et jetables. L'utilisation de tels outils permettrait, en effet, de réduire le temps global d'analyse (avec par exemple la parallélisation des analyses), d'envisager des gains analytiques, mais aussi de diminuer la consommation d'échantillons radioactifs et la production de déchets solides et liquides en fin de cycle analytique [2] (permettant également de réduire le coût de fonctionnement du laboratoire). Du point de vue de la radioprotection, la diminution du volume d'échantillon à traiter d'un facteur 1000, par exemple, conduirait à la diminution quasi-proportionnelle de l'activité manipulée par l'expérimentateur et donc à envisager l'utilisation de dispositifs de protection moins contraignants : en passant d'une boîte à gants à une hotte ventilée [3].

Dans ce cadre, et pour diminuer aussi l'utilisation de solvants Cancérogène, Mutagène ou toxique pour la Reproduction (CMR), la miniaturisation de l'extraction liquide-liquide est apparue nécessaire. Fort de son expérience dans l'étude des écoulements et de transfert en microsysteme [4], le LANIE, en partenariat avec l'Institut de Recherche de Chimie Paris (IRCP - UMR 8247), propose une thèse permettant d'exploiter au mieux les spécificités liées à la miniaturisation (surface spécifique très importante, courtes distances de diffusion) et notamment celles des écoulements segmentés. Pour cela, il sera nécessaire, dans un premier temps, d'étudier les processus hydrodynamiques et de transfert pour des écoulements segmentés en microsysteme pour des systèmes chimiques ayant des mécanismes et des cinétiques d'extraction différents. La stabilisation des écoulements laminaires segmentés de fluides de viscosités différentes est indispensable à la mise en œuvre de procédés multi-phasiques. La fonctionnalisation des microcanaux par un patterning hydrophile/hydrophobe constitue une solution technique originale, pouvant faciliter la mise en œuvre des écoulements en microsystemes. En effet, lorsque les deux phases ont des viscosités trop différentes, la modification de surface d'une partie du microcanal pour la rendre hydrophile (la phase aqueuse s'écoule de façon confinée dans la partie rendue hydrophile) permet d'augmenter les temps de contacts des deux phases et donc d'améliorer le transfert de matière. Dans le cas où les deux phases ont des viscosités proches, la modification de surface d'une partie du microcanal permet de stabiliser les écoulements et donc d'augmenter le domaine d'utilisation du microsysteme (on a accès à un plus grand nombre de couples de débits aqueux et organiques). Dans un second temps, les résultats acquis couplés à la modélisation vont permettre de proposer une méthodologie de conception et de dimensionnement d'un microsysteme adapté à un système chimique donné.

Les résultats de la thèse pourront également être mis à profit en hydrométallurgie, en particulier, dans les études portant sur l'intensification des procédés.

Directeur de thèse : G. Cote (IRCP - UMR 8247, ENSCP)

Encadrant de thèse : C. Mariet (LANIE, CEA-Saclay) TEL 01 69 08 49 60, clarisse.mariet@cea.fr

1. Whitesides, G.M., *What comes next?* Lab Chip, 2011. 11: p. 191–193.
2. Janssens-Maenhout, G., *The benefits of applying microsystems in radiochemistry.* Nanotechnology Perceptions, 2007. 3: p. 183-192.
3. Janssens-Maenhout, G., J. Buyst, and P. Peerani, *Reducing the radioactive doses of liquid samples taken from reprocessing plant vessels by volume reduction.* Nuclear Engineering and Design, 2007. 237: p. 880–886.
4. Hellé, G., C. Mariet, and G. Cote, *Liquid-liquid microflow patterns and mass transfer of radionuclides in the systems Eu(III)/HNO₃/ DMBTDMA and U(VI)/HCl/Aliquat® 336.* Microfluidics and Nanofluidics, 2014. 10.1007/s10404-014-1403-1.

Financement : CFR

Début de thèse 1er novembre 2015

Formation souhaitée : ENSCP, ESPCI, ENSI chimie