



Etude par microfluidique des procédés de recyclage de composants de circuits imprimés

Fabien L. Olivier^{1,2*}, Jean-Christophe P. Gabriel^{1,2}

¹SCARCE Laboratory, Energy Research Institute @ NTU (ERI@N), Nanyang Technology University, 637553, Singapore.

²Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, NIMBE, LICSEN, F-91191, Gif-sur-Yvette, France.

*fabien.olivier@cea.fr

Afin de répondre à une demande toujours croissante en métaux, le recyclage des métaux présents dans les déchets électroniques et électriques (DEEE) se présente comme une solution complémentaire intéressante face aux ressources minières limitées. Aujourd'hui, la majorité des procédés de recyclage mis en œuvre consiste à brûler les circuits imprimés puis à en séparer une dizaine d'éléments métalliques. Toutefois, afin d'augmenter la quantité d'éléments chimiques recyclés (jusqu'à une soixantaine sur un circuit imprimé), de nouvelles étapes de procédé, notamment d'hydrométallurgie, sont à l'étude. Ainsi, une fois les métaux issus des composants électroniques dissous dans un milieu généralement acide, une solution de lixiviation complexe est obtenue, présentant une large gamme à la fois en composition ionique élémentaire et en concentration. Cependant, la séparation des ions métalliques contenus dans ces solutions peut s'avérer complexe du fait de la variabilité importante de composition chimique des déchets entrants.

Dans ce contexte, une plateforme microfluidique instrumentée et entièrement automatisée, a été construite dans le but de faciliter le développement et l'optimisation des procédés chimiques d'extraction et de séparation des métaux. Munie d'une mesure des concentrations en ions métalliques dans les phases en sortie d'extraction, par fluorescence X [1], ce système permet de réaliser très précisément des mesures de propriétés physico-chimiques de procédés d'extraction et de séparation des métaux telles que les mesures (i) d'activité chimique de solvants [2], qui sont nécessaires pour la compréhension et la simulation des phénomènes impliqués ; (ii) des vitesses de réaction d'extraction ou de séparation grâce à sa puce d'extraction modulaires dédiée [3]–[5] ; (iii) de la capacité d'adsorption d'une colonne de séparation d'ions [6]. Tous ces procédés chimiques sont clés pour donner accès aux métaux stratégiques nécessaires à notre industrie car ils permettent d'extraire et de séparer ces métaux après l'étape de dissolution du matériau initial les contenant.

References

- [1] A. A. Maurice, J. Theisen, V. Rai, F. Olivier, A. El Maangar, J. Duhamet, T. Zemb, and J. C. P. Gabriel, "First online X- ray fluorescence characterization of liquid- liquid extraction in microfluidics," *Nano Sel.*, no. March, pp. 1–12, 2021, doi: 10.1002/nano.202100133.
- [2] V. Kokoric, J. Theisen, A. Wilk, C. Penisson, G. Bernard, B. Mizaikoff, and J. C. P. Gabriel, "Determining the Partial Pressure of Volatile Components via Substrate-Integrated Hollow Waveguide Infrared Spectroscopy with Integrated Microfluidics," *Anal. Chem.*, vol. 90, no. 7, pp. 4445–4451, 2018, doi: 10.1021/acs.analchem.7b04425.
- [3] A. El Maangar, J. Theisen, C. Penisson, T. Zemb, and J. C. P. Gabriel, "A microfluidic study of synergic liquid-liquid extraction of rare earth elements," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 22, no. 10, pp. 5449–5462, 2020, doi: 10.1039/c9cp06569e.
- [4] J. Theisen, C. Penisson, J. Rey, T. Zemb, J. Duhamet, and J. C. P. Gabriel, "Effects of porous media on extraction kinetics: Is the membrane really a limiting factor?," *J. Memb. Sci.*, vol. 586, no. April, pp. 318–325, 2019, doi: 10.1016/j.memsci.2019.05.056.
- [5] F. Olivier, A. A. Maurice, D. Meyer, and J.-C. P. Gabriel, "Liquid-liquid extraction: thermodynamics-kinetics driven processes explored by microfluidics," *Comptes rendus - Chim.*, vol. 25, pp. 137–148, 2022, doi: 10.5802/crchim.172.
- [6] F. L. Olivier, S. M. Chevrier, B. Keller, and J.-C. P. Gabriel, "On-line quantification of solid-phase metal extraction efficiencies using instrumented millifluidics platform," *Chem. Eng. J.*, vol. 454, no. P3, p. 140306, 2023, doi: 10.1016/j.cej.2022.140306.