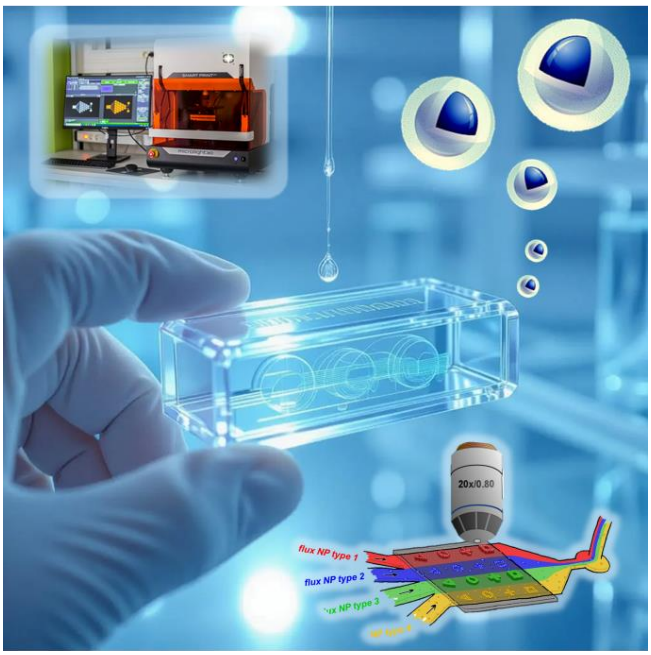
Détection de micropolluants dans l'eau: Fabrication d'un capteur microfluidique à base d'un réseau de nanoparticules enviro-intelligentes

Equipe Nanotech au Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets (LPCNO-UMR 5215 INSA-CNRS-UPS) @ Toulouse

- Projet multidisciplinaire expérimental en nanotechnologies
- Stage de fin d'études M2-Grandes Ecoles de 5 mois minimum. Le projet se poursuivra par une thèse financée sur la période sept-oct 2026-2029

MOTS CLES: capteur, microfluidique, analyse de l'eau, nanoparticule colloïdale, assemblage dirigé, micro-nanofabrication



Introduction - Le suivi des micropolluants présents dans les eaux constitue un enjeu sociétal majeur. En effet, la contamination des rivières et des fleuves par des substances d'origine anthropique – telles que des rejets chimiques issus des activités industrielles, agricoles ou encore des systèmes de refroidissement des centrales nucléaires – représente une menace croissante pour l'environnement et la santé publique. Cette problématique souligne également l'importance d'une traçabilité rigoureuse des eaux destinées à la consommation humaine, face à la présence potentielle de métaux lourds, de perturbateurs endocriniens ou encore de microplastiques.[1]

L'idée de ce projet est de proposer une nouvelle génération de microcapteurs sous la forme de puces microfluidiques capables de détecter *in situ* avec une extrême précision la présence de plusieurs de ces éléments dans d'infimes quantités d'eau.

Pour cela, la zone sensible du microcapteur sera constituée d'un réseau de différents types de nanoparticules dont les propriétés de captations seront spécifiques et sélectives des (micro)contaminants. La détection et la quantification de ces derniers se fera au travers de la réponse en photoluminescence des nanoparticules dont la longueur d'onde d'émission et l'intensité lumineuse seront adaptées en conséquence. La fabrication du microcapteur à base de résine époxy [2] exploitera divers phénomènes et fonctions microfluidiques comme la création de flux laminaires et l'intégration de structures de type « gradient » ainsi que la technique d'assemblage dirigé électrostatique dite de nanoxérographie.

Sujet - Ce projet innovant se décompose en plusieurs tâches qui sont autant de challenges que le/la candidat.e devra traiter :

*Induction optique de charges électrostatiques *in situ* en microfluidique. Depuis une quinzaine d'années, l'équipe *Nanotech* à Toulouse a développé une technique novatrice, la nanoxérographie, procédé qui consiste à injecter, dans un matériau électret, des charges électrostatiques sous la forme de motifs d'intérêt.[3] Ces motifs chargés servent ensuite de pièges pour assembler électrostatiquement sur la surface, des nano-objets chargés et/ou polarisables initialement dispersés en solution. Il existe plusieurs méthodes d'injection parallèle de motifs sur des surfaces millimétriques mais elles dépendent jusqu'alors toutes de l'utilisation contraignante d'un masque/timbre physique.[4,5] L'objectif est de proposer une nouvelle méthode optique d'induction de charges par masquage digital UV DMD[6] qui pourrait ultimement être réalisée par transparence au sein du microcapteur microfluidique. A ces fins, en collaboration avec l'entreprise grenobloise Microlight3D, un tout nouvel équipement sera installé sur lequel le/la candidat.e sera formé.e.

*Co-assemblage simultané par nanoxérographie microfluidique. Afin de limiter le nombre d'étapes de fabrication du microcapteur et de multiplexer les analyses réalisables sur un même prélèvement d'eau, il sera nécessaire de chercher à assembler simultanément au moins trois types de nanoparticules différentes sur des zones prédéfinies. Pour cela, il faudra tirer profit du phénomène de co-écoulement laminaire[7] des dispersions colloïdales qu'il faudra intégrer au procédé de nanoxérographie, une preuve de concept ayant déjà été démontrée lors d'une thèse précédente. Les nanoparticules d'or enrobées de polymères fonctionnels utilisées seront synthétisées par des collaborateurs du laboratoire toulousain Softmat.

*Caractérisation du microcapteur. Dans cette tâche, il faudra vérifier la bonne sélectivité de l'absorption/adsorption des microcontaminants par divers polymères enrobant les nanoparticules mais également la réversibilité de la détection. Il sera en effet nécessaire de développer un protocole (via changement de pH, température, écoulement d'une solution tampon, etc.) afin de désaturer le réseau et réinitialiser facilement la détection. Enfin, des tests de sensibilité devront être menés en s'appuyant sur la possibilité d'implémenter des structures microfluidiques de type « gradient » afin de tester simultanément une multitude de concentrations de micropolluants et ainsi déterminer le seuil de détection associé.

Profil recherché – Etudiant niveau M2 ou dernière année école d'ingénieur. Spécialité recherchée : Physique, Microfluidique, Micro/Nanotechnologies, Nanosciences.

Le/la stagiaire sera intégré(e) au sein de l'équipe *Nanotech* où il/elle sera formé(e) à l'utilisation des équipements microfluidiques ainsi qu'aux procédés de micro/nanostructuration liées à la méthode de nanoxérographie en passant par les techniques de caractérisation des assemblages de nanoparticules réalisés. Le/la stagiaire devra présenter un attrait pour le travail expérimental qui se déroulera en majorité dans la salle blanche de l'équipe. Dynamique, il/elle devra faire preuve de rigueur et curiosité scientifique pour mener à bien le sujet.

Les candidats avec la volonté de poursuivre ce sujet en thèse seront priorisés.

Contact - Intéressé(e)? N'hésitez pas à contacter Laurence Ressier et Etienne Palleau pour discuter plus en détails du sujet et de votre adéquation à ce profil.
laurence.ressier@insa-toulouse.fr / epalleau@insa-toulouse.fr - tél : 05.61.55.96.72 / 05.61.55.96.37

Références

(1) Yang, Y.; Zhang, X.; Jiang, J.; Han, J.; Li, W.; Li, X.; Yee Leung, K. M.; Snyder, S. A.; Alvarez, P. J. J. Which Micropollutants in Water Environments Deserve More Attention Globally? *Environ. Sci. Technol.* **2022**, *56* (1), 13–29. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04250.
(2) Raffy, S.; Palleau, E.; Calvignac, B.; Brotons, G.; Lefebvre, G.; Rolley, N.; Teychene, S.; Viguier, B.; Cerezo, S. C.; Truan, G.; Ressier, L. "All in One" Epoxy-Based Microfluidic Chips at Your Fingertips. *ACS Appl. Polym. Mater.* **2021**, *3* (2), 801–810. https://doi.org/10.1021/acsapm.0c01112.
(3) Palleau, E.; Ressier, L. Combinatorial Particle Patterning by Nanoxerography. *ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS* **2018**, *28* (30). https://doi.org/10.1002/adfm.201801075.
(4) Poirot, D.; Platel, R.; Alnasser, T.; Guerin, F.; Palleau, E.; Ressier, L. Smartphone-Identifiable Photoluminescent Nanoparticle-Based Multilevel Secured Tags by Electrical Microcontact Printing. *ACS Appl. Nano Mater.* **2018**, *1* (10), 5936–5943. https://doi.org/10.1021/acsanm.8b01634.
(5) Diaz, R.; Palleau, E.; Poirot, D.; Sangeetha, N. M.; Ressier, L. High-Throughput Fabrication of Anti-Counterfeiting Colloid-Based Photoluminescent Microtags Using Electrical Nanoimprint Lithography. *Nanotechnology* **2014**, *25* (34), 345302. https://doi.org/10.1088/0957-4484/25/34/345302.
(6) Rao, Y.; Gao, Y.; Luo, N. Research and Design on DMD Digital Photolithography System. In *5th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Design, Manufacturing, and Testing of Micro- and Nano-Optical Devices and Systems*; SPIE, 2010; Vol. 7657, pp 166–175. https://doi.org/10.1117/12.865240.
(7) Guerrero, J.; Chang, Y.-W.; Fragkopoulos, A. A.; Fernandez-Nieves, A. Capillary-Based Microfluidics—Coflow, Flow-Focusing, Electro-Coflow, Drops, Jets, and Instabilities. *Small* **2020**, *16* (9), 1904344. https://doi.org/10.1002/smll.201904344.