

Le magnétisme à la rencontre de la microfluidique

La microfluidique est une technologie en plein essor, développant une approche de miniaturisation de circuits fluidiques pour mieux contrôler l'écoulement de fluides et utiliser des quantités minimales de liquides, permettant une manipulation et un diagnostic rapides 'on-chip'. Ces applications dans les domaines de sciences de la vie et la chimie souffrent néanmoins de limitations. Lorsque les tailles des canaux atteignent les dizaines de micromètres, des problèmes de blocage, de dépôts sur les parois, et surtout de pression augmentant de manière très importante, entraînent de fortes contraintes mécaniques et détériorent la fiabilité des systèmes. Ces difficultés sont liées à l'utilisation de parois rigides pour confiner les écoulements.

Une solution radicale consiste à éliminer les parois solides. C'est ainsi que, dans l'esprit et le cadre de l'USIAS, des chimistes (ISIS UMR 7006, CNRS, Université de Strasbourg) et des physiciens (IPCMS UMR 7504, CNRS, Université de Strasbourg) se sont associés avec des spécialistes de magnétisme de Trinity College (Dublin). La solution envisagée est le confinement par champ de forces magnétiques. Un liquide paramagnétique (ferrofluide), attiré par les zones de champ fort, enrobe un liquide diamagnétique (eau) confiné dans les zones de champ faible. Utilisant deux liquides non miscibles et des sources de forces magnétiques à géométrie appropriée, il est ainsi possible de stabiliser une forme cylindrique pour un liquide s'écoulant dans un autre liquide. Dans leur récente publication, ces auteurs ont montré comment il était possible de réaliser les éléments de base d'un circuit microfluidique avec cette technologie, évitant ainsi la plupart des écueils techniques de la microfluidique standard. Au moyen de tomographie par Rayons X à haute résolution, il a été possible de démontrer la stabilité de circuit de canaux tubulaires de diamètre atteignant une taille de 8 microns. En principe, l'optimisation des paramètres des deux fluides en contact doit permettre d'atteindre des tailles submicroniques. Le contrôle magnétique possède d'autres avantages : il devient de plus en plus efficace lorsque l'on réduit la taille et est modifiable à des vitesses record. Dans une perspective de tailles ultimes, les technologies de nanomagnétisme et d'électronique de spin, actuellement utilisées pour le stockage d'informations, pourraient ainsi être mises à profit pour contrôler des circuits de nanofluidique.

Des applications sont déjà possibles à l'échelle du mm. Les interfaces liquide-liquide permettent de préserver au mieux l'intégrité de liquides fragiles. Un exemple est le sang, qui souffre de dégradation cellulaire lorsqu'il est mis sous contrainte, en particulier pour le pomper artificiellement. En s'associant avec l'Établissement Français du Sang Grand Est (BPPS UMR-S1255, INSERM), un système de pompage 'magnéto-staltique' a ainsi montré une nette diminution de l'hémolyse, indicateur de rupture de globules rouges. Ayant protégé leur invention par un brevet (sous l'égide de la SATT Conectus), une maturation de ce projet pour optimiser la fiabilité et l'efficacité de ces pompes a permis de créer une entreprise startup : Qfluidics. Ce projet a également donné naissance à un financement Européen (projet ITN Marie Skłodowska-Curie MaMi), qui finance une quinzaine de thèses à travers l'Europe dans cette thématique.

Article Revue Nature

<https://www.nature.com/articles/s41586-020-2254-4>

Contacts : T.M. Hermans (ISIS), également fondateur de Qfluidics : hermans@unistra.fr
P. Dunne (IPCMS) : peter.dunne@ipcms.unistra.fr
P. Mangin (EFS Grand Est, U1255)

Magnetism meets microfluidics

Microfluidics is a rapidly growing technology based on miniaturized fluidic circuits to better control fluid flows and use minimal quantities of liquids, which is increasingly used in rapid on-chip diagnosis. However, the current applications in the fields of life sciences and chemistry are hampered by fundamental limitations. When channel sizes reach tens of micrometers, problems of blockage, fouling, and especially increased pressure drop exacerbate problems of device reliability and mechanical stress on the liquids inside. These difficulties are linked to the existence of solid walls, necessary to confine the flows.

A radical solution has been developed: eliminate the solid walls altogether. In this spirit and kick-started by USIAS (University of Strasbourg Institute of Advanced Study), chemists (ISIS UMR 7006, CNRS) and physicists (IPCMS UMR 7504, CNRS) have joined forces with magnetism specialists from Trinity College (Dublin). The solution was found in magnetic confinement. A paramagnetic ferrofluid, attracted by the high magnetic field zones, surrounds a diamagnetic liquid (water) tube that remains in the weak field zones. Using two immiscible liquids and a quadrupolar magnet geometry (Fig. 1), it is thus possible to stabilize a magnetically levitated liquid tube inside another liquid. In the current publication, the authors have shown how to construct basic microfluidic circuitry using this technology, and thus avoiding most of the technical pitfalls of standard microfluidics. By means of high-resolution X-ray tomography, it was possible to show the existence of liquid tubes down to 8 microns in diameter. In principle, by optimizing the parameters of the two fluids in contact, it is possible to achieve submicron sizes. Magnetic control has further advantages: it becomes more and more effective when the size is reduced and can be modified at record speeds. From an ultimate size perspective, nanomagnetism and spin electronics technologies, currently used for information storage, could thus be used to control nanofluidic circuits.

Applications are already possible at the mm scale. Liquid-liquid interfaces allow the integrity of delicate liquids to be optimally preserved. An example is blood, which is damaged especially when pumped around by mechanical pumps. In association with the French Blood bank Grand Est (BPPS UMR- S1255, INSERM), the authors have developed a 'magneto-staltic' pumping system has shown a clear decrease in hemolysis, an indicator of red blood cell rupture. This breakthrough technology is now being commercialized by start-up company Qfluidics. This project has also given rise to European funding (ITN Marie project Skłodowska-Curie MaMi), which finances some fifteen PhD projects across Europe in this field.

Article

<https://www.nature.com/articles/s41586-020-2254-4>

Contacts : T.M. Hermans (ISIS), also co-founder of Qfluidics hermans@unistra.fr
P. Dunne (IPCMS) peter.dunne@ipcms.unistra.fr
P. Mangin (EFS Grand Est, U1255)