

Sujet Stage M2 / Thèse

Nano-Ratchet : transport actif à l'échelle nanométrique

Encadrant : Fabien Montel (fabien.montel@ens-lyon.fr)

Collaborations : Sergio Ciliberto (ENS Lyon), Cécile Cottin-Bizonne (ILM, Lyon)

Institut/Département : Ecole Normale Supérieure de Lyon / Laboratoire de Physique (UMR 5672)

Le développement de nano-machines qui peuvent extraire du travail à partir de stimulus externes (énergie thermique ou chimique, actionnement de la lumière) représente un domaine prometteur de recherche. Dans la même direction, nous proposons ici de concevoir des nanomoteurs processifs et linéaires qui peuvent utiliser des forces osmotiques ou des fluctuations thermiques pour exercer une force active de séparation sur les espèces présentes dans deux compartiments comme dans les expériences de pensée du démon de Maxwell ou du ratchet brownien de Smoluchowski.

Dans ce projet, nous proposons d'utiliser des gradients moléculaires entre les deux côtés d'un nano-canal pour induire le transport de macromolécules dans un nanopore. Nous caractériserons à l'échelle de la molécule unique ces nano-pompes actives pour les biomacromolécules telles que l'ADN.

Pour la première partie du projet, l'écoulement des macromolécules sera induit par la présence d'agents de cliquet (polycations, nano-billes) dans le compartiment en aval. Ces molécules sont capables de se lier fortement à l'ADN une fois sortie du compartiment en amont mais ne peuvent pas diffuser dans le compartiment en amont (exclusion de taille). Leur association avec l'ADN induit donc un biais dans la diffusion du polymère et donc un transport actif de ce dernier vers le compartiment en aval (Figure 1). Le transport de macromolécules uniques sera mesuré par une technique optique de champ proche développée au laboratoire (Zéro-Mode Waveguide pour nanopores [2]) et les forces en jeu seront mesurées grâce à des pinces optiques holographiques. A partir de cette mesure, nous extrairons le changement du paysage énergétique de translocation en présence des agents de cliquets.

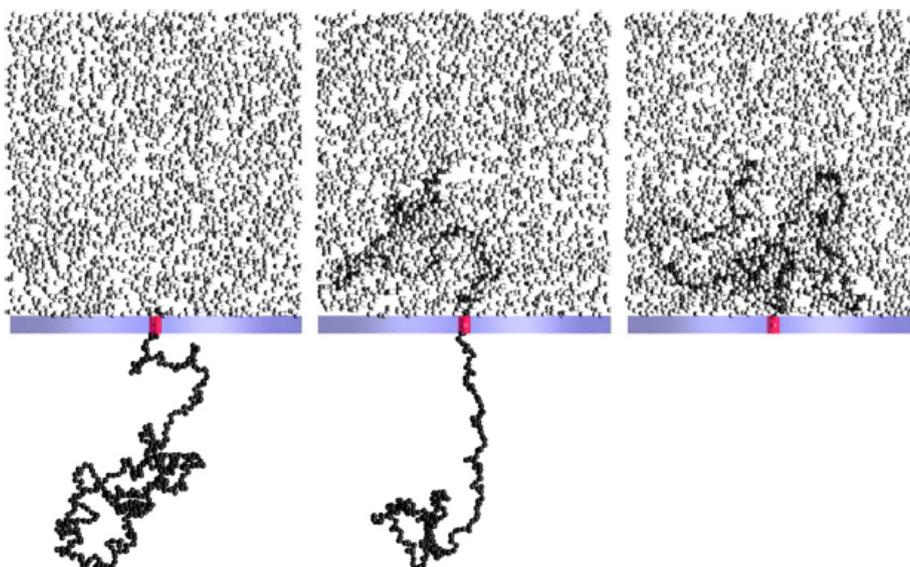


Figure 1 : Simulation d'un ratchet brownien de translocation. Un polymère idéal (en noir) est placé à l'entrée (en rouge) d'un compartiment dans lequel se trouve des particules (en gris) qui possèdent une forte énergie d'association avec le polymère mais qui sont elles-mêmes trop volumineuses pour diffuser par le pore formant l'entrée du compartiment. Dans cette simulation brownienne (dynamique de Langevin) on observe que les fluctuations d'entrée-sortie du polymère sont biaisées vers le compartiment où les particules sont présentes. Extrait de [1].

Dans une deuxième partie du projet, nous créerons et modéliserons des dispositifs qui utilisent le flux diffusio-osmotique pour injecter des macromolécules (ADN) à l'intérieur de nanocanaux et de nanopores. Les écoulements diffusio-osmotiques surviennent lorsque les surfaces chargées et leurs contre-ions dans les liquides sont soumis à un gradient de pression osmotique sur la direction latérale. Il peut être induit par des espèces chargées (sels) mais aussi comme dans notre cas par des molécules non chargées (PEG). Dans cette partie, nous utiliserons des techniques de détection électrique et optique à l'échelle de la molécule unique pour mesurer la capacité de ce flux à injecter des macromolécules dans des environnements confinés.

Pour ces deux parties, nous extrairons la relation force-vitesse à l'échelle de la molécule unique et du nanopore individuel pour ces nano-pompes moléculaires et nous comparerons leur efficacité énergétique. Nous extrairons aussi la fonction de grande déviation de ces nano-moteurs.

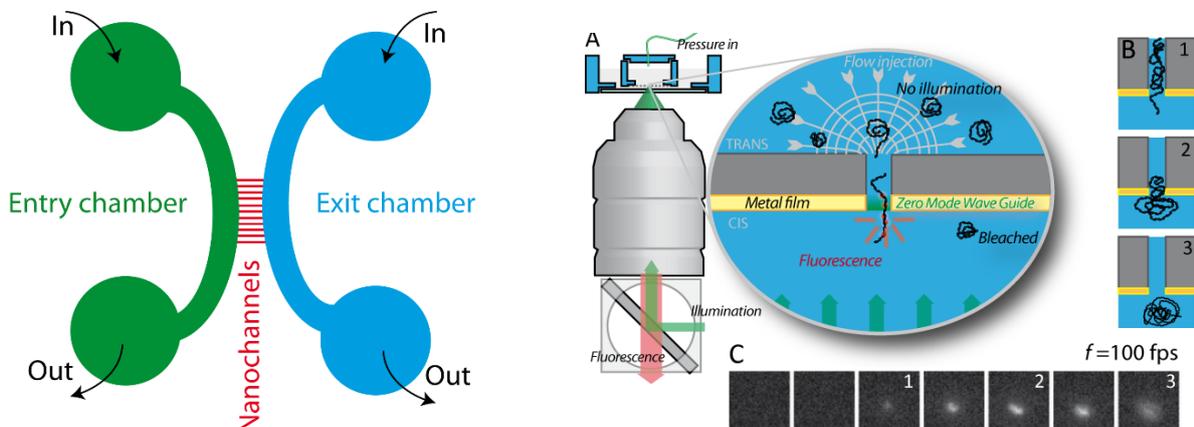


Figure 2 : Nanocanaux et Zero-Mode Waveguide. (gauche) Un système couplant des canaux microfluidiques et des nanocanaux permettra de suivre par fluorescence le transport de macromolécules soumis aux flux diffusio-osmotiques. (droite) La technique de Zero Mode Waveguide permet de suivre en temps réel le transport de molécules individuelles dans des nanopores uniques. Extrait de [2].

Ces deux systèmes nous permettront de mieux comprendre le rôle des fluctuations dans la production de travaux utilisables à cette échelle. Ce travail donnera également des indications sur les paramètres limites des nano-pompes et guidera la compréhension des nano-pompes naturelles comme le translocon et le pore nucléaire. Il ouvrira la possibilité de construire des systèmes minimaux qui reproduisent le comportement de ces systèmes naturels qui sont essentiels au bon fonctionnement de nos cellules.

Dans le cadre d'un stage de M2 l'une ou l'autre des parties du projet pourra être abordée.

Bibliography :

- 1] Suhonen, P. M. & Linna, R. P. Chaperone-assisted translocation of flexible polymers in three dimensions. *Phys. Rev. E* 93, 12406 (2016).
- 2] Zero-mode waveguide detection of flow-driven DNA translocation through nanopores. Auger T, Mathé J, Viasnoff V, Charron G, Di Meglio JM, Auvray L, Montel F. *Phys Rev Lett.* 2014 Jul 11;113(2):028302.