

Microfluidique : diffusion et viscosité

Quelles sont les questions scientifiques ou techniques ?

Mesure d'un coefficient de diffusion moléculaire.

Mesure d'une viscosité.

Par quelles expériences y répondre ?

Expériences microfluidiques de convergence de deux canaux.

Quelles techniques expérimentales ?

Diffusion d'un colorant fluorescent.

Déplacement d'une interface entre deux fluides de viscosité différente.

Quels sont les résultats ?

À vous de les montrer à travers des graphes clairs.

Comment les interpréter ?

Ingrédients physiques, lois d'échelle, ajustement de courbes expérimentales : à vous de jouer !

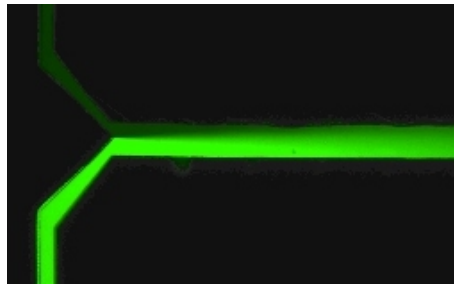


FIGURE 1 – Diffusion d'un colorant fluorescent au confluent de deux canaux microfluidiques.

1 Détermination d'un coefficient de diffusion

Le mélange de deux liquides est un problème sérieux dans les circuits microfluidiques. Dû à la faible valeur du nombre de Reynolds, les écoulements y sont laminaires et le mélange se fait uniquement par diffusion. Dans la première partie de ce TP nous étudions le mélange de deux liquides dans des microcanaux.

Le canal utilisé dans cette première partie est un canal droit avec une entrée en Y qui permet l'injection collatérale de deux fluides, de l'eau pure et de l'eau colorée par de la fluorescéine. Les deux fluides sont injectés au même débit contrôlé par un pousse-seringue. Nous disposons de deux types de canaux différents ayant une largeur de 100 ou 200 μm , leur hauteur étant fixée à 80 μm . La visualisation se réalise par microscopie de fluorescence. L'acquisition d'images se fait grâce à une caméra numérique pilotée par le logiciel Pylon. Les paramètres de la caméra seront ajustés de manière à ce que l'intensité de fluorescence soit suffisante pour être détectée correctement mais sans saturer le capteur CCD.

Nous vous proposons d'étudier la manière dont les deux fluides se mélangent le long du canal en fonction de différentes vitesses d'écoulement.

- Décrire qualitativement vos observations à un débit du pousse-seringue fixé (par exemple $Q \sim 10 \mu\text{l}/\text{min}$).
- Toujours pour ce même débit prendre des images de l'écoulement à différentes positions le long du canal (typiquement entre 5 et 10 mesures par débit), positions que l'on pourra repérer grâce à la règle gravée le long du canal.
- Répéter ces mesures pour quelques débits (typiquement 3).
- À la fin de vos manipulations, il conviendra de faire circuler de l'eau pure dans les deux branches du canal pour éliminer toute trace de fluorescence.

Comment interpréter les résultats ?

En microscopie de fluorescence, l'intensité est directement proportionnelle à la concentration de molécules fluorescentes (dans la mesure où l'on a pris garde à ne pas saturer le capteur de la caméra).

L'élargissement de l'interface par la diffusion des particules de colorant peut être décrite par une fonction d'erreur du type :

$$c(y, t) = c_0 \operatorname{erf}(y/2\sqrt{Dt}),$$

où le coefficient de diffusion est donné par la loi d'Einstein, $D = kT/6\pi\eta r$, r étant le diamètre "hydrodynamique" des molécules diffusantes et η la viscosité du solvant.

La vérification expérimentale de cette loi à l'aide de particules colloïdales par Jean Perrin a contribué à la validation des théories atomistiques et s'est traduite par son prix Nobel en 1926.

- À l'aide du logiciel ImageJ, effectuer des coupes transversales de l'écoulement et extraire les profils de niveau de gris pour chaque image prise. On prendra soin d'enregistrer ces profils avec des noms faisant référence aux conditions de prise de l'image (par exemple : débit et distance le long du canal).

- À l'aide de Matlab, analyser ces données en les ajustant avec la fonction erreur. Extraire de cet ajustement la largeur de l'interface en fonction de la position x dans le canal.

- Comment évolue cette largeur de l'interface avec x ? Comparer les résultats pour les différents débits. Comment relie-t-on x au temps t ? Comment peut-on remonter au coefficient de diffusion de la fluorescéine dans l'eau ? Donner une estimation de ce coefficient de diffusion D en déduire le rayon hydrodynamique de cette molécule.

2 Mesure d'une viscosité

Si deux fluides de viscosité différente sont injectés côte à côte dans un canal, la position de l'interface entre ces deux fluides est une fonction du rapport de leur viscosité et de leur débit. On se propose d'utiliser cette caractéristique pour mesurer la viscosité de mélanges eau-glycérol de composition inconnue.

Le canal utilisé dans cette deuxième partie est un canal droit avec une entrée en Y qui permet l'injection collatérale de deux fluides, de l'eau colorée par de la fluorescéine d'un côté et une solution de viscosité inconnue de l'autre. Les deux fluides sont injectés par deux pousse-seringues indépendants. Nous disposons de canaux ayant une largeur de $600 \mu\text{m}$ et une hauteur de $50 \mu\text{m}$. La visualisation se réalise par microscopie de fluorescence couplée à la visualisation en lumière blanche pour repérer les contours du canal. Les paramètres de la caméra seront ajustés de manière à ce que l'intensité de fluorescence soit suffisante pour être détectée correctement mais sans saturer le capteur CCD.

Nous vous proposons d'étudier la manière dont l'interface entre deux fluides se positionne dans le canal en fonction du rapport de débit entre les deux fluides et de leur rapport de viscosité.

- Pour une solution de viscosité inconnue, mesurer la position de l'interface en fonction du rapport de débit des deux fluides. N'oubliez pas d'attendre que l'interface ait atteint sa position d'équilibre avant de prendre une photo.

- Avant de changer de solution, bien rincer les microcanaux avec de l'eau.

- Répéter ces mesures pour d'autres solutions (typiquement 3).

- À la fin de vos manipulations, il conviendra de faire circuler de l'eau pure dans les deux branches du canal pour éliminer toute trace de fluorescence.

Comment interpréter les résultats ?

- À partir de l'évaluation du nombre de Re , rappeler l'équation qui régit le mouvement des fluides dans le canal.

- Compte-tenu de la géométrie de votre canal (de fort rapport d'aspect largeur/hauteur), en déduire la relation qui relie le débit de chaque fluide au gradient de pression dans le canal.

- Quelle relation relie la position de l'interface d'un fluide par rapport à l'autre en fonction du rapport des deux viscosités et des deux débits ?

- Quelle est la viscosité des solutions proposées ?