



Microfluidique & biomimétisme

Complémentarités & bénéfices croisés

Introduction

La **microfluidique** c'est la science et les technologies associées pour l'étude des écoulements miniaturisés. Très concrètement, il s'agit de faire s'écouler des fluides dans des canaux de la taille d'un cheveu : de 10 à 500 μm de diamètre et plusieurs centimètres de longueur.

Les particularités de cette échelle micrométrique sont :

- De changer le rapport des forces entre viscosité et inertie (transition caractérisée par le nombre de Reynolds) : tous les écoulements sont dits laminaires, ils ne présentent pas de turbulences.
- D'amplifier l'importance des interactions de surface par rapport à celles en volume.

Ces écoulements miniaturisés sont très répandus **dans le monde vivant** :

- La circulation sanguine depuis les artères jusqu'aux plus petits capillaires ;
- La circulation de la sève dans le xylème et le phloème entre racines et feuilles des arbres ;
- La soie d'araignée obtenue à partir des sécrétions liquides des glandes séricigènes.

Biomimétisme et Microfluidique ont en commun d'avoir un nom à l'étymologie très explicite mais représentent un concept transversal et polyvalent, au croisement des disciplines scientifiques, à l'interface entre recherche et applications.

Fabriquer des structures micrométriques

Les dispositifs microfluidiques sont fabriqués par des technologies dérivées de la micro-électronique (par ex. moule obtenu par photolithographie ou gravure puis réticulation d'un matériau polymère).

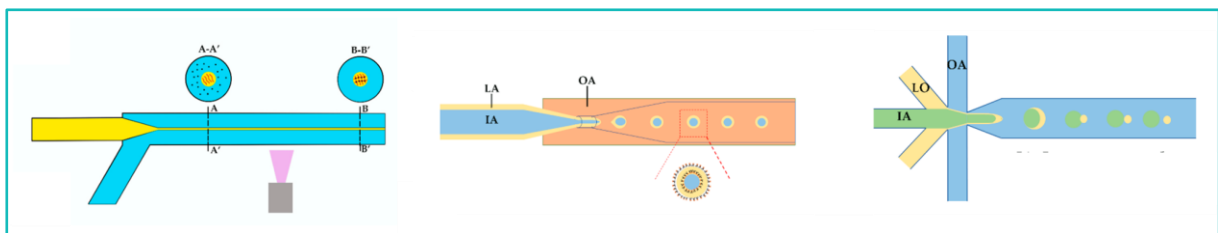
Ce sont même technologies qui permettent aujourd'hui la fabrication des **surfaces fonctionnelles micro- et nano-texturées** qui représentent un domaine emblématique du biomimétisme :

- Super-hydrophobie de la feuille de lotus
- Oléophobie de la carapace du collembole
- Antibactérien de l'aile de cigale
- Antigivre des yeux de mouche

En jouant sur la géométrie particulière des canaux microfluidiques, il est possible de juxtaposer plusieurs écoulements laminaires. Grâce à un changement d'état (polymérisation, cristallisation...), il est possible de **fabriquer des fibres** à la section micrométriques.

Dans d'autres géométries, avec des liquides non miscibles, il est classique en microfluidique de générer **des gouttes et des bulles**. Là-encore, selon le niveau de complexité des écoulements et des changements d'état, une grande diversité d'objets micrométriques peut être fabriquée : **des billes, des émulsions multiples, des vésicules, des capsules...**

Cette possibilité en microfluidique de fabriquer ce type de structures (des fibres aux vésicules) créer un lien fort avec le biomimétisme. D'abord parce qu'on peut les utiliser directement comme **objets biomimétiques** aux mêmes dimensions que les objets biologiques. Ensuite parce qu'ils s'inscrivent dans une logique de **matériaux hiérarchisés** : organisation multi-échelle des matériaux biologiques.

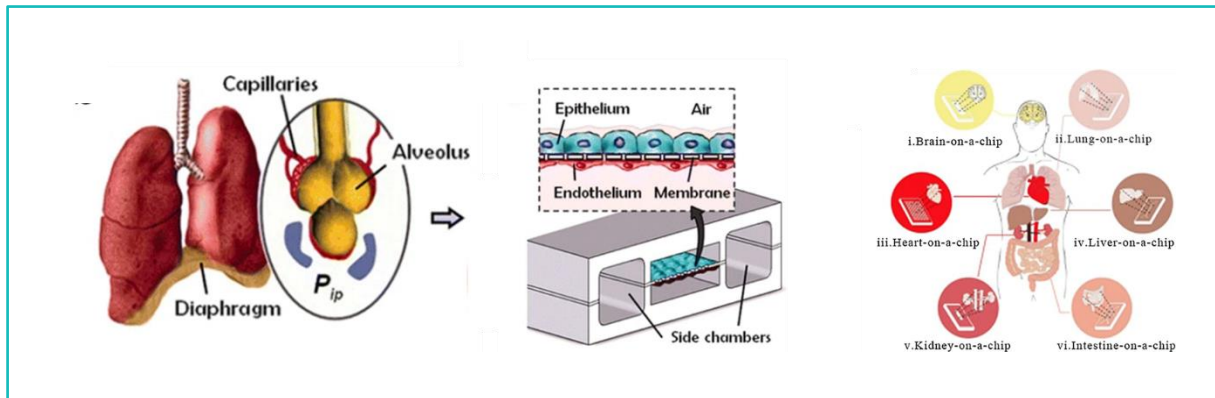


Reproduire des conditions biologiques

Un canal microfluidique c'est une version ultra-simplifiée d'un vaisseau sanguin. En faisant s'écouler des cellules biologiques (globules rouges, globules blancs, plaquettes) ou des analogues, on peut étudier **la circulation sanguine** selon de nombreux paramètres. Viscosité, déformabilité des cellules selon la géométrie, effets de cisaillement près des parois... La microfluidique est utilisée dans de nombreuses **recherches biomédicales** d'une part pour mieux caractériser, comprendre et diagnostiquer, mais aussi comme solution pour développer des solutions thérapeutiques.

A partir de ce principe, des dispositifs microfluidiques plus complexes cherchent à reproduire un fonctionnement simplifié des organes biologiques. Par exemple, avec deux canaux microfluidiques contenant respectivement de

l'air et du sang, et séparés par une membrane couverte d'un tissu de cellules, on obtient la brique élémentaire d'une alvéole pulmonaire. Cette démarche se généralise à l'ensemble du corps humain (foie, rein, cerveau, intestin, cerveau...) sous le concept « **organ-on-a-chip** ». On y retrouve la démarche du biomiméticien pour reproduire et transposer une fonction, et travailler sur l'abstraction pour s'affranchir d'une complexité apparente et conserver les éléments nécessaires.

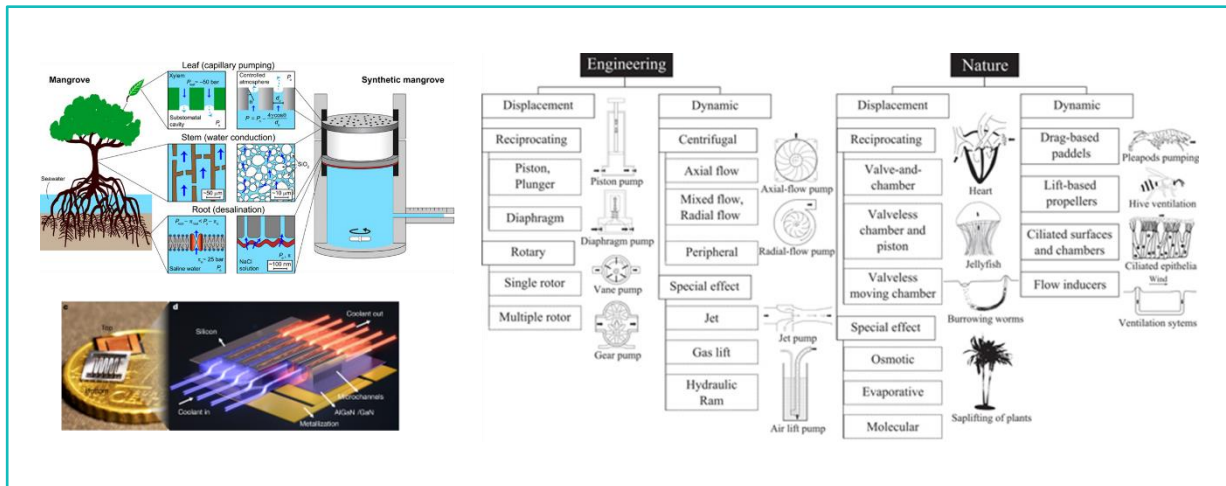


Diversifier les champs d'applications

Si la microfluidique s'est initialement développée autour de la biologie du corps humain et les applications biomédicales, d'autres modèles biologiques et d'autres champs d'applications sont aujourd'hui également explorés.

Quelques exemples sont proposés ci-dessous :

- La présence de bulles d'air dans la circulation de la sève, générées par cavitation notamment en période de sécheresse, est dangereuse pour la survie des arbres. La microfluidique aide à modéliser et comprendre les mécanismes naturels de protection contre ces **embolies gazeuses**. *
- Les racines végétales dans les mangroves sont des dispositifs naturels **de filtration et de désalinisation**. La microfluidique permet de reproduire ces fonctions d'intérêt.
- La vascularisation sanguine dans le bec du toucan et les oreilles du lapin contribue grandement à la thermorégulation corporelle. Sur ce modèle, des dispositifs microfluidiques sont intégrés à la microélectronique comme **des systèmes de refroidissements** efficaces.
- De manière transversale, la maîtrise des écoulements miniaturisés repose sur l'utilisation **de pompes et de vannes** qui peuvent être elles-mêmes bio-inspirées sur le modèle des méduses, des insectes, des vers...



Conclusions

Un dialogue naissant existe entre biomimétisme et microfluidique, notamment autour des technologies de fabrication, des échelles de taille et des typologies d'application. Il mériterait d'être consolidé et amplifié, notamment en explorant d'autres domaines que la santé encore prédominante et en contribuant plus activement aux enjeux écologiques.

La microfluidique et le biomimétisme démontrent souvent leur potentiel jusqu'à la preuve de concept. Le défi reste le passage à l'échelle industrielle. Des acteurs de l'écosystème du biomimétisme travaillent activement sur cet enjeu :

- **EdenTech**

Start-up dédiée aux technologies microfluidiques bio-inspirées.

Applications : qualité de l'eau (micropolluants, microplastiques), manipulation cellulaire, production d'hydrogène.

Débits : ~500m³/jour

- **Centre de Nanosciences et Nanotechnologies (C2N, CNRS)**

Equipe de recherche (Microsystèmes et Nano-bio-fluidique) dédiée au développement d'un poumon artificiel, pour l'oxygénation et la décarbonation du sang.

Dérivation pendant les opérations chirurgicales : ~80mL/min – 4h d'opération.

Rédactrice

Laura MAGRO, directrice du développement scientifique Ceebios

Experte matériaux bio-inspirés et formation initiale en microfluidique (master 2 et thèse)

Références

- Surfaces bio-inspirées : <https://www.mdpi.com/1996-1944/9/2/116>
- Synthèse d'objets micrométriques : <https://www.mdpi.com/2073-4425/9/6/283>
- Organs-on-a-chip : <https://link.springer.com/article/10.1186/S12938-020-0752-0>
- Gestion de l'eau dans une mangrove : <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax5253>
- Systèmes de refroidissement microfluidiques : <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2666-1>
- Pompes bio-inspirées : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-3190/10/5/051001>
- EdenTech : <https://eden-microfluidics.com/>
- C2N BioArtLung : <https://lejournel.cnrs.fr/nos-blogs/de-la-decouverte-a-innovation/bioartlung-un-poumon-artificiel-biomimetique>