

Etude et modélisation de micro-robots nageurs.

Passionné par les œuvres de science-fiction depuis l'enfance, j'imagine un monde où la robotique serait introduite dans tous les aspects de la vie humaine. C'est ainsi que je me suis intéressé dans mon sujet aux micro-robots nageurs et leurs intérêts dans le domaine médical.

Les micro-robots nageurs sont des systèmes microscopiques qui se meuvent dans des fluides et sont dotés d'une large mobilité. De plus ils permettent de transporter les substances médicamenteuses dans les vaisseaux sanguins, et ainsi traiter localement les tumeurs et les cellules cancéreuses.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- *MRINI Soufiane*

Positionnement thématique (phase 2)

PHYSIQUE (Mécanique), PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Micro-robots</i>	<i>Microrobots</i>
<i>Nage</i>	<i>Swimming</i>
<i>Nombre de Reynolds</i>	<i>Reynolds number</i>
<i>Propulsion</i>	<i>Propulsion</i>
<i>Actionnement</i>	<i>Actuation</i>

Bibliographie commentée

Les micro-robots sont des machines miniaturisées et sophistiquées conçues pour effectuer des tâches avec précision. Ils ont généralement des dimensions de quelques millimètres. Ces derniers ont le potentiel de révolutionner plusieurs aspects de la médecine notamment le domaine de la chirurgie minimalement invasive en déposant localement les médicaments et en traitant les cellules cancéreuses par exemple [1].

Par conséquent, l'étude et la modélisation réelle de ces micro-robots s'avère primordiale, vu les maintes possibilités qu'ils offrent. Cependant, au fur et à mesure que nous réduisons la taille des robots, la physique fondamentale régissant les dispositifs reste la même, mais l'importance relative des effets physiques change.

En réalité le mécanisme de nage des micro-organismes s'avère particulier. En effet, leur taille leur fait ressentir le fluide qui les entoure comme beaucoup plus visqueux. Ainsi un micro-organisme se mouvant dans un milieu aqueux correspond à un humain, ou un gros poisson, nageant dans du

miel. Les techniques de nage à cette échelle diffèrent donc des nôtres : les micro-organismes ne peuvent exploiter l'inertie pour se propulser car, à bas nombre de Reynolds [2], les forces visqueuses dominent et un simple mouvement cyclique à un degré de liberté ne pourra pas induire un mouvement global .

Le comportement dynamique des micro-organismes a été initialement étudié par **G.I. Taylor** (1951) et **E.M. Purcell** (1977). Ce dernier a introduit son « nageur 3-segments » [4] afin d'appréhender la dynamique particulière de ces êtres minuscules et étudier l'effet des forces visqueuses sur le mécanisme de propulsion.

La nature a inspiré de nombreux modèles de locomotion de micro-robots et l'analyse des études menées sur le comportement des micro-organismes réels a ouvert le champ à la science devant diverses possibilités [5]. Néanmoins, contrairement aux micro-organismes qui ne font face qu'à la difficulté de l'autopropulsion et des contraintes du milieu et de la taille, la mise en mouvement des micro-robots présente un troisième obstacle, à savoir l'apport d'énergie et l'actionnement adéquat pour induire la propulsion. A cet effet plusieurs types d'actionnement sont envisageables, généralement classés en deux grandes catégories : des dispositifs à énergie interne et d'autres à énergie externe [1].

Une première approche consiste à introduire l'alimentation et le contrôle au sein du micro-robot. Ce modèle mécanique repose sur la commande directe du prototype après le réglage au préalable des paramètres qui régissent le mouvement. Le modèle du nageur « 3 sphères » apporte une certaine facilité pour l'étude théorique alors que sa mise en œuvre reste difficile [5]. Le modèle du nageur « 2 palettes » quant à lui est plus aisé à réaliser [3].

Une autre approche consiste à concevoir peu ou pas de stockage ou de génération d'énergie dans le micro-robot en lui transmettant sans fil l'énergie. C'est une méthode qui peut être réalisée en utilisant les gradients de champs magnétiques qui induisent sur un corps ferromagnétique une force et un couple magnétiques proportionnels à l'amplitude du champ [6]. Cependant une expérience introduisant de tels dispositifs reste difficile à mettre en œuvre car elle nécessite des champs magnétiques forts produits essentiellement par des IRM. Tout de même la prédiction et la commande de ces micro-robots a déjà été étudiée [7].

Dans notre étude, nous renonçons donc à l'intuition acquise du monde macroscopique et nous nous appuyons plutôt sur l'analyse et la simulation dans la conception de micro-robots. Ainsi, notre travail se concentre sur la compréhension dynamique du comportement des micro-robots dans les fluides, notamment dans le sang, et la modélisation de leur mouvement à notre échelle.

Problématique retenue

Quel modèle retenir donc pour le micro-robot nageur ? Comment le modéliser d'une manière simple à l'échelle macroscopique ? Comment nage-t-il et quel est son comportement dynamique vis-à-vis des différents paramètres du fluide ?

Objectifs du TIPE

Je focalise essentiellement mon étude sur le modèle du micro-robot à actionnement magnétique (*externe*), ainsi je m'intéresse à une modélisation simple d'un microrobot naviguant dans le système cardiovasculaire et des différentes forces qu'il subit, afin de résoudre les équations dynamiques à l'aide de l'outil informatique et visualiser la trajectoire du dispositif.

De plus, afin d'étudier les comportements d'un tel micro-robot dans différents milieux fluidiques de viscosités différentes, nous proposons, mon binôme et moi, chacun un prototype macroscopique en vue de transposer les résultats obtenus sur un micro-robot évoluant dans différents vaisseaux sanguins et comparer leurs performances.

Abstract

Swimming microrobots have the potential to revolutionize many aspects of minimally invasive medicine, by delivering drugs to specific regions of the human body. There exists two main approaches to power these kind of microrobots : onboard power and transmitted power. In my study I am interested in transmitting power using magnetic fields in order to control microrobots made with ferromagnetic material such as neodymium and iron. I will start by describing the various forces the microrobot experiences then I will model the microrobot macroscopically taking into account the differences in swimming mechanisms at the macro-scale.

Références bibliographiques (phase 2)

- [1] BRADLEY J. NELSON, IOANNIS K. KALIAKATSOS, JAKE J. ABBOTT : Microrobots for Minimally Invasive Medicine : *Annual Review of Biomedical Engineering*, 2010, pp.55-85.
- [2] E.M. PURCELL : Life at low Reynolds number : *American Journal of Physics* vol 45, pages 3-11, 1977.
- [3] GREG HUBER, STEPHAN A. KOEHLER, JING YANG : Micro-swimmers with hydrodynamic interactions : *Mathematical and Computer Modelling* Volume 53, Issues 7-8, April 2011, Pages 1518-1526
- [4] LAETITIA GIRALDI : Mathematical methods for analysis swimming at low Reynolds number. Optimization and Control [math.OC] : *Ecole Polytechnique X*, 2013. English.
- [5] RAMIN GOLESTANIAN, ARMAND AJDARI : Analytic results for the three-sphere swimmer at low Reynold number : *Physical Review E* 77 036308.
- [6] KARIM BELHARET : Navigation prédictive d'un microrobot magnétique : Instrumentation, commande et validation : *Autre : Université d'Orléans*, 2013. Français.
- [7] LAURENT ARCESE : Modélisation et commande de microrobots magnétiquement guidés dans le système cardiovasculaire : *Autre : Université d'Orléans*, 2011. Français.
- [8] <http://hydrodynamismecompare.e-monsite.com/pages/nageurs-a-bas-nombre-de-reynolds.html> (Consulté depuis Septembre 2018)

DOT

- [1] [Août 2018] : Recherches bibliographiques sur les micro-organismes et lecture l'article de E.M.

Purcell à propos de la vie à faible nombre de Reynolds.

[2] *[Septembre 2018] : Découverte des différents modèles de micro-robots nageurs et des différents types d'actionnements (mécanique, magnétique ...)*

[3] *[Novembre 2018] : Recherche de méthode de génération de gradients de champs magnétiques (Bobines de Helmholtz) et modèles de micro-robots retenus.*

[4] *[Novembre 2018] : Première expérience échoué : Gradient de champ magnétique trop faible.*

[5] *[Décembre 2018] : Deuxième expérience : Utilisation des aimants en ferrite au lieu des bobines de Helmholtz. Mesures effectuées dans du glycérol uniquement avec une sphère de fer.*

[6] *[Février 2019] : Troisième expérience : Expérience faite dans du glycérol et de l'eau en utilisant l'aimant de néodyme. Le gradient de champ magnétique n'est important pour les bobines de Helmholtz que dans une région étroite.*

[7] *[Mai 2019] : Mesures de champ magnétique des bobines de Helmholtz. Mesures effectuées pour la sphère de fer et l'aimant de néodyme dans l'eau et le glycérol. On s'assure de l'hypothèse de faible nombre de Reynolds.*