

ESPCI  PARIS | PSL 

PHYSIQUE
ET MÉCANIQUE
DES MILIEUX
HÉTÉROGÈNES
[PMMH]

3

QUESTIONS À

== DAMIEN VANDEMBROUCQ ==
Directeur du PMMH



Comment s'est passé le récent déplacement du laboratoire ?

Le laboratoire a déménagé en mars 2018 : 75 % du personnel travaille désormais dans de nouveaux locaux sur le campus Pierre et Marie Curie de Sorbonne Université ; 20 % est installé à l'Institut Langevin, et une dernière équipe, dirigée par David Quéré, officie à l'Institut Pierre-Gilles de Gennes. Nous avons inauguré les nouveaux locaux le 19 septembre 2018, et nous en sommes très satisfaits. Le seul inconvénient est l'éclatement sur trois sites : maintenir la cohésion du laboratoire est un de nos défis pour les années à venir, et nous comptons bien le relever.



Quelles sont les spécificités du PMMH ?

Nos thématiques de recherche, très variées, couvrent quatre grands thèmes : hydrodynamique ; interfaces ; la matière molle et biophysique et mécanique physique. Mais au-delà de cette variété des sujets étudiés et des techniques mises en oeuvre, notre fonctionnement se caractérise par une grande fluidité entre les gens, les thèmes, les laboratoires... Nous avons une approche "à échelle humaine" des phénomènes que nous étudions.



Le fondateur du laboratoire, Étienne Guyon, a récemment publié un livre de vulgarisation scientifique...

Cet ouvrage, *Du merveilleux caché dans notre quotidien*, écrit à huit mains avec José Bico, Étienne Reyssat et Benoît Roman, est emblématique de notre démarche : il se concentre sur la physique du quotidien, à notre échelle. Dans les revues de vulgarisation, on se focalise en général sur l'infiniment grand et l'infiniment petit : l'astrophysique et la physique quantique. C'est fascinant mais un peu restrictif : il reste énormément de questions à étudier dans notre environnement proche, et elles sont tout aussi fascinantes !



70-80 publications
par an

2,5 publications par
an et par chercheur

Effectif permanent

23 CNRS

4 ESPCI

6 Sorbonne Université

3 Université de Paris

35 doctorants

13 post-doctorants

LA FLEXIBILITÉ DE L'INTERACTION FLUIDE/STRUCTURE

DES FLAGELLES AUX ÉOLIENNES

L'interaction fluide/structure compte parmi les problèmes les plus classiques de la mécanique des fluides. La compréhension du couplage entre un écoulement et un objet fixe, déformable ou en mouvement est cruciale, tant pour les applications aéro ou hydrodynamiques (ailes d'avion, coques de bateau) que pour la récupération d'énergie (éoliennes) ou la locomotion animale (vol ou nage). Le laboratoire PMMH participe fortement au renouvellement de ce thème en élargissant son étude à toutes les échelles, en considérant des fluides complexes et/ou en développant une approche biomimétique.

PROPULSION ANIMALE ET BIO-INSPIRATION

Dans le domaine de la propulsion animale (nage de poissons, vol d'insectes ou d'oiseaux), le problème est piloté par un mouvement actif de la structure (ailes ou nageoires, par exemple) qui produit la force propulsive.

Les équipes du PMMH ont ainsi étudié la propulsion par ailes battantes et la nage ondulatoire en partant du cas le plus simple, où la structure est rigide, jusqu'au cas où celle-ci est déformable sous l'action de l'écoulement. Parmi les questions récurrentes se trouve celle du couplage entre la dynamique tourbillonnaire et l'élasticité du corps en

Proposer de nouvelles idées pour la production d'énergies renouvelables.

mouvement. Ces phénomènes physiques inspirés de la locomotion animale, ainsi que les outils analytiques développés pour étudier les interactions fluide/structure, ont permis de proposer de nouvelles idées pour la production d'énergies renouvelables (éolienne, houlomotrice). Le laboratoire étudie et optimise un nouveau type d'éoliennes à pales flexibles bio-inspirées. Ces dernières peuvent se déformer passivement sous l'effet des forces aérodynamiques et centrifuges. Cette recherche s'inspire d'études récentes sur le vol des insectes et sur la reconfiguration des plantes, qui montrent la capacité des feuilles et des ailes souples d'insectes à s'adapter aux conditions de vent, et ainsi à augmenter leurs performances.

POUR EN SAVOIR PLUS

On the diverse roles of fluid dynamic drag in animal swimming and flying, R. Godoy-Diana et B. Thiria. Journal of the Royal Society Interface, 15, 20170715, 2018.

Tumbling, buckling, snaking: Morphological transitions of elastic filaments in shear flow, Y. Liu, B. Chakrabarti, D. Saintillan, A. Lindner et O. du Roure, PNAS 115, 9438, 2018.

SUSPENSIONS COMPLEXES

À petite échelle, l'interaction entre un fluide et un objet, filament élastique ou particule complexe, contrôle la dynamique des bactéries (propulsion flagellaire) mais aussi la rhéologie de suspensions complexes comme le sang. Grâce aux développements récents de la microfluidique et de la microfabrication, les chercheurs du PMMH ont pu étudier la dynamique individuelle de filaments élastiques sous écoulement et comprendre les changements morphologiques qu'il subit. Ils ont ainsi mis en évidence l'apparition d'instabilités et de transitions de flambage entre des configurations rigides et des configurations très déformées plus vermiculaires ou serpentines. Ces études expérimentales très contrôlées ont permis de valider les modèles théoriques qui prédisent le seuil d'apparition de ces transitions. La possibilité d'observer l'interaction fluide/structure à l'échelle des particules et, simultanément, de caractériser expérimentalement la réponse rhéologique macroscopique permettra à terme d'établir un lien direct entre les différentes échelles du problème et de mieux comprendre les propriétés d'écoulement des fluides complexes.

EN BREF

Étudier le cortex cellulaire

L'actine est une protéine qui forme des réseaux dynamiques de fibres dans les cellules. Sous la membrane cellulaire, on trouve un réseau contractile d'actine, le cortex, encore assez méconnu et qui participe aux propriétés migratoires des cellules. Le laboratoire a mis au point un système innovant pour en étudier les propriétés en utilisant des microbilles magnétiques. L'idée est de pincer cette fine structure entre une bille ingérée par la cellule et une bille restée à l'extérieur. En jouant sur l'intensité du champ magnétique appliqué de l'extérieur, les chercheurs peuvent étudier les propriétés mécaniques et dynamiques du cortex cellulaire. Ils ont ainsi pu observer une variation régulière de l'épaisseur au cours du temps et des variations de sa rigidité. Ces travaux devraient permettre de mieux comprendre le fonctionnement de l'actine et son rôle essentiel à la vie cellulaire.

La leçon des gouttes



L'équipe de David Quéré travaille sur un phénomène connu depuis 250 ans, la caléfaction : projetez des gouttes d'eau sur une surface très chaude (300 °C) et elles glissent sur un coussin de vapeur. Elles glissent même tellement vite qu'il faut, pour les étudier, les piéger sur des surfaces concaves. En étudiant les mouvements à l'intérieur des gouttes, les chercheurs ont ainsi découvert qu'à l'échelle millimétrique, quand les gouttes étaient quasi sphériques, elles tournaient sur elles-mêmes. Étant sur coussin d'air, donc exemptes de friction par rapport

à leur support, cette rotation ne devrait pas influencer sur leur mouvement, et pourtant ces gouttes se déplacent d'elles-mêmes dans le sens de la rotation ! L'explication proposée, à base de couplage entre l'écrasement de la couche de vapeur et des vitesses asymétriques, importe finalement assez peu par rapport à la leçon heuristique qu'en tire David Quéré : comme ces gouttes sont très mobiles, le premier réflexe de tous les chercheurs qui les étudient depuis plus de deux siècles a été de les piéger, masquant ainsi le phénomène le plus étonnant qu'ils avaient à découvrir : leur mobilité ! À méditer.

À LIRE : *Study of the dendritic cell using the magnetic pincher*, V. Laplaud, Thèse Université de Paris (2019). *Leidenfrost wheels*, A. Bouillant, T. Mouterde, P. Bourriane, A. Lagarde, C. Clanet et D. Quéré, *Nature Physics* 14, 1188 (2018).

Comprendre la plasticité des verres

Le phénomène de déformation plastique est bien connu dans le cas des matériaux périodiques, cristallins, mais beaucoup moins dans celui des matériaux amorphes (verres, gels, milieux granulaires...). Sollicités mécaniquement, ces derniers réagissent pourtant tous plus ou moins de la même manière, il doit donc être possible de modéliser ce phénomène. Les recherches de Sylvain Patinet visent précisément à dériver des lois de comportements mécaniques physiquement justifiées pour les verres. En s'appuyant sur une nouvelle méthode d'échantillonnage des réarrangements plastiques à l'échelle atomique, l'idée est ici de "remettre de l'ordre" dans les matériaux amorphes. En clair : trouver la brique élémentaire jusqu'ici manquante pour pouvoir modéliser ces systèmes à différentes échelles.

À LIRE : *Local yield stress statistics in model amorphous solids*, A. Barbot, M. Lerbinger, A. Hernandez-Garcia, R. Garcia-Garcia, M. L. Falk, D. Vandembroucq and S. Patinet, *Phys. Rev. E* 97, 033001 (2018).

ESPCI  PARIS | PSL 

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE
INDUSTRIELLES DE LA VILLE DE PARIS

10, rue Vauquelin, 75231 PARIS CEDEX 05
+ 33 1 40 79 44 00

espci.psl.eu

