



Normale
Physics Review

INPR

École normale
supérieure

— *Fights Bohr-dom* —

Édito N₂₄ : Joyeuse année !

L'équipe de la NPR vous souhaite une joyeuse nouvelle année ! C'est enfin une année qui semble pouvoir laisser la pandémie derrière elle – les habitudes et traditions reprennent leur cours, ainsi pour la première fois depuis trois ans le prix des trois physiciens a été décerné normalement. Le lauréat en est Frédéric Chevy, auquel nous adressons toutes nos félicitations sans pour autant le démettre de son titre dans notre langage courant de « prof d'électromag ».

Au cycle de la nouvelle année, la NPR donne en reflet le cycle des carrières en physique, en proposant dans ce numéro un résumé de stage de L3, sur les gouttes quantiques, dont remarquablement le titre ne comprend pas le mot quantique pour obtenir des financements mais bien pour souligner une très belle analogie. En grandissant l'étudiant deviendra chercheur, peut-être au PMMH ? Nous avons visité ce labo à Jussieu comme un lieu exotique pour vous en ramener des images de poissons et de libellules mystérieuses... Et finalement, pour conclure le cycle faudra-t-il un professeur pour former de nouveaux étudiants – mais le choix n'est jamais facile de s'engager dans cette voie pour plusieurs décennies : quoi de mieux alors qu'une année d'essai avant de passer l'agrégation ? C'est ce qu'ont fait deux normaliens que nous avons rencontré.

Enfin, nous vous donnons tous rendez-vous le 24 janvier pour une conférence dont nous sommes sûrs qu'elle aura un certain écho... Bonne lecture !

– Victor Lequin pour l'équipe de rédaction

SOMMAIRE

Class life	2	Sir, I have a question	10
Musique et Physique : l'homme en quête de l'harmonie secrète du monde	2	New problems	10
Physicist's life	3	Mystery photo	11
Stage de L3 : les gouttes quantiques	3	Solution of N ₂₃	11
Normalien et prof : tester l'enseignement avant l'agrégation	4	Photo of N ₂₄	11
Visite du PMMH : poissons, libellules et physique	6	Acknowledgements	11



normalephysicsreview.netlify.app



facebook.com/
NormalePhysicsReview

CLASS LIFE

Musique et Physique : l'homme en quête de l'harmonie secrète du monde

Einstein a exprimé quelque chose d'étonnant : « La plus belle chose que nous puissions vivre, c'est le mystère. C'est le sentiment fondamental qui est au berceau de l'art et de la science véritables. »

C'est de cela dont nous parlerons le 24 janvier à 19h en Salle des Actes (45 rue d'Ulm) à l'occasion de cette "conférence-échange", illustrée musicalement à la guitare classique et ponctuée d'échanges avec le public.

Le parcours proposé sera l'occasion de mettre en lumière le besoin, commun au chercheur et au musicien, de s'ouvrir et de s'accorder à l'harmonie secrète du monde. Aidés de témoignages (N. Boulanger, Fischer, Brahms, Poincaré, Einstein...), nous irons au cœur de cette quête qui habite certains hommes, et qui peut trouver une résonance en chacun de nous.

Plus d'informations sur la page Facebook de l'événement (qui sera alimentée peu à peu) :

<https://fb.me/e/2p3aRk4r1>

– Lionel Djadaojee
Docteurant en physique à l'ENS



**Musique
et Physique**

L'homme en quête de l'harmonie secrète du monde

« À travers les sons innombrables qui peuplent l'Univers,
un chant imperceptible appelle celui qui écoute en secret. »
Friedrich SCHLEGEL

Parcours et échanges autour de
témoignages d'artistes et de scientifiques

Illustration musicale :
Florian MANDRILLON, *guitare classique*
BACH, Fernando SOR, SCHUBERT, SATIE

Mardi 24 Janvier 2023
19h – Salle des Actes

École normale supérieure – PSL
45, rue d'Ulm – PARIS 5^e / Entrée libre

avec Lionel DJADAOJEE (Physicien)
Louis GUILLOT (Mathématicien)
Michel VAUDEY (Musicien)

ENS | PSL

PHYSICIST'S LIFE

Stage de L3 : les gouttes quantiques

Mon stage s'est déroulé à l'institut Langevin au mois de juillet dernier. L'institut Langevin, c'est un laboratoire de l'ESPCI situé à côté de Jussieu, juste sous l'Institut de Physique du Globe de Paris. Là-bas, on travaille sur les ondes : optiques, acoustiques, hydrodynamiques... et leurs applications.

J'ai choisi de travailler sur le phénomène des marcheurs. Les marcheurs, ce sont de petites gouttes d'huile qui rebondissent sur un bain composé de cette même huile. C'est contre-intuitif, parce qu'on devrait observer a priori un phénomène de coalescence : les gouttes devraient se fondre dans le bain d'huile. Pour arriver à les maintenir en dehors, il suffit d'agiter le bain verticalement, à une fréquence de 80 Hz. Si l'on agite suffisamment fort, les gouttes se mettent à rebondir à la surface, et si l'on continue d'agiter, on dépasse un deuxième seuil à partir duquel les gouttes se dotent d'une vitesse horizontale : elles se déplacent à la surface du bain, on dit qu'elles "marchent".

Ce qui permet d'atteindre ce régime, c'est l'instabilité de Faraday. Cette instabilité se produit lorsqu'on soumet un fluide à une vibration verticale, comme ici : des ondes stationnaires apparaissent alors à la surface lorsqu'on dépasse une certaine amplitude de vibration. Cette amplitude minimale à partir de laquelle les ondes se forment spontanément correspond au seuil de Faraday. Dans mon expérience, on se place juste en dessous de ce seuil. À chaque impact sur la surface, les gouttes excitent cette instabilité et des ondes de Faraday stationnaires se forment autour du point d'impact. Cela crée un couplage très fort entre la goutte et les ondes, un peu comme... en mécanique quantique.

Il a donc été possible par le passé de reproduire des expériences de diffraction avec des marcheurs. Mon objectif, c'était de reproduire une autre expérience quantique : la localisation d'Anderson. La localisation d'Anderson est une expérience démontrant qu'en dessous d'une certaine température, le courant ne passe plus dans un milieu désordonné comme un semi conducteur : les électrons se sont "localisés" dans le réseau de défauts, ils sont comme bloqués et ne peuvent plus transmettre le courant. On explique ce phénomène par l'aspect ondulatoire de l'électron, qui prend le dessus à basse température. Mon objectif était de montrer qu'on peut reproduire cette expérience, en utilisant des marcheurs dans une cuve où l'on aurait placé des plots, et qui constituerait donc

un milieu désordonné.

Le paramètre qui sert d'analogie à la température est ce qu'on appelle la "mémoire", et quantifie la proximité au seuil de Faraday : plus on se rapproche de ce seuil (i.e. plus la mémoire est élevée), plus le marcheur est influencé par les ondes qu'il produit (l'aspect ondulatoire prend le dessus) et plus il se localise.

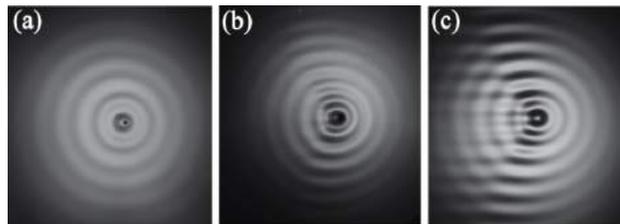


Figure 1 – Champ d'ondes créé par le marcheur pour différentes mémoires allant de la plus faible à la plus élevée

De fin juin à fin juillet, j'ai travaillé sur la mesure du champ d'onde créé à la surface de la cuve. À la rentrée, j'ai décidé de poursuivre mon stage comme projet expérimental et j'ai pu travailler sur la mesure de la trajectoire du marcheur dans la cuve. On a pu montrer alors qu'on observe une différence de comportement du marcheur selon la mémoire : à haute mémoire, le marcheur fait de petites boucles qui limite sa diffusion spatiale (2) : on se rapproche en réalité d'un phénomène de *weak localisation*, où le coefficient de diffusion baisse sensiblement. C'est donc bien une forme de localisation liée à l'aspect ondulatoire du marcheur.

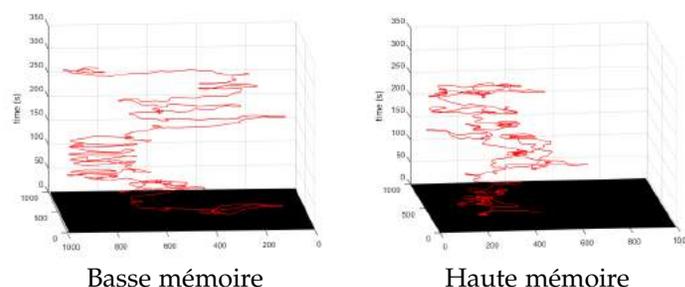


Figure 2 – Trajectoires d'une même goutte pour différentes mémoires, avec le temps en ordonnée

Ces résultats m'ont permis de présenter un poster au Workshop du groupe de recherche *Contrôle des Ondes en Milieu Complexes* ce qui était une expérience très intéressante. Globalement, le stage m'a permis de me familiariser avec le monde de la recherche et m'a beaucoup plu !

– Zoé Herson

Normalien et prof : tester l'enseignement avant l'agrégation

Si l'enseignement reste une issue phare du cursus normalien et un de ses attraits les plus connus, il est toutefois facile de perdre certitude en sa vocation de professeur après quelques mois ou années plongé dans l'École et (sur)exposé au monde de la recherche. Dans le même temps, certains fustigent les normaliens et leur voie royale vers la préparation à l'agrégation en regrettant qu'ils ne passent ce concours, pourtant à valeur de recrutement par l'Éducation nationale, seulement par hybris ou vieille habitude ulmite. Autant de raisons pour prendre le temps de la réflexion ? « Je me suis dit : plutôt que passer l'agreg et de devenir directement professeur, est-ce que je ne ferais pas une année test ? » Rencontre avec Victor Gondret et Adrien Sutter, deux normaliens partis enseigner quelques mois dans le secondaire au détour d'une année de césure.

C'est en contractuant qu'on devient contractuel

C'est souvent une idée qui vient d'une connaissance ayant tenté l'expérience. Pour Adrien, ce fut favorisé par la pandémie, empêchant un stage à l'international : c'est donc son deuxième semestre de M1 qu'il passera au lycée George Sand de Domont, au nord de Paris. « J'ai toujours aimé l'idée d'enseigner. J'ai eu plein d'idées de métiers dans ma vie mais l'idée de prof est toujours restée dans un coin de ma tête : j'avais collé, fait des cours particuliers, j'aimais bien ça mais il y avait quand même en moi cette volonté d'avoir ma classe, mes élèves et de pouvoir tester toutes les idées pédagogiques que j'avais. » La procédure : il faut se faire contractuel, donc contacter le rectorat d'une ou plusieurs académies (Paris bien sûr, Versailles aussi). Un CV et une lettre de motivation plus tard, c'est l'entretien avec un inspecteur (les délais varient mais peuvent être très rapides hors rentrée scolaire) : « En temps normal, ils te posent des questions de physique, ils sont censés évaluer ton niveau rapidement. L'inspectrice m'a dit (je m'en rappellerai toujours) : « Bon, je crois que je ne vais pas trop essayer de vous poser des questions de physique... » Elle en a quand même fait mais quand tu es normalien, elle sait qu'elle va te prendre donc c'était une discussion très sympa, on était devenus potos et tout. »

Pour Victor, c'était un projet mûri plus longtemps, effectué entre sa troisième et sa quatrième année à l'École, période marquée par les manifestations contre la réforme des retraites et le premier confinement – un panorama qu'il considèrera « extrêmement enrichissant ». Une année entière donc, au collège Victor Hugo dans le troisième arrondissement. S'il a hésité à passer le CAPES pour profiter de la première année accompagnée de formations (les normaliens sont dispensés des écrits de ce concours), cela aurait été synonyme de démission de l'ENS et il a préféré être contractuel également.

Après un jeu de contacts au département de physique pour obtenir un entretien avec un inspecteur, il attend septembre pour l'appel du rectorat : « C'est un peu tout à la dernière minute. J'ai eu un contrat d'un an (ça faisait plaisir), vacances comprises. Ils m'ont filé ça le 18 ou le 20 septembre, et le lendemain j'étais devant les élèves. »

Des classes à soi... oui mais lesquelles ?

Victor regrette par contre le peu d'heures de cours par classe : « Pour arriver à développer une bonne relation avec les élèves, déjà le côté prof de physique-chimie ce n'est pas génial car tu les vois une heure à une heure et demi par semaine, c'est très peu. Si tu dois mettre un cadre, c'est dur de le rappeler et d'en garder un suivi d'une semaine à l'autre. Par rapport à ça, je pense que c'est mieux d'être en maths. Néanmoins, selon les choix pédagogiques de l'établissement, il est possible d'avoir des demi-classes qui te permettent de faire des vrais TP, ce qui fut mon cas. »

Il ne faut pas s'attendre non plus à beaucoup de travaux pratiques, souvent remplacés par des cours ou trop difficiles à mettre en place. Le lycée offre quand à lui une certaine variété, avec l'enseignement scientifique ou la préparation du grand oral en terminale (souvent pas un grand succès). Autres caractéristiques susceptibles de fluctuer d'une réforme à l'autre, les choix d'options en cours d'année (difficilement gérables, avec une partie des élèves vouée à ne plus faire de physique) et le contrôle continu, que regrette Adrien : « C'est la pire idée qui soit. Je me suis retrouvé examinateur en permanence, avec des élèves qui avaient constamment l'impression d'être évalués, ce qui n'est pas très bon pour l'apprentissage et qui crée des comportements atroces, d'évitement des devoirs. Mieux vaut ne pas avoir de note qu'avoir un cinq ou un dix. . . »

Celui-ci a choisi le lycée pour son contact accru avec les élèves. « Tu es contractuel donc tu poses tes conditions. J'ai refusé des postes qui ne me plaisaient pas, comme un BTS. Tu as cette souplesse quand tu veux faire ça sur un semestre. En l'occurrence, j'ai eu beaucoup de chance d'avoir ce poste qui me convenait jusqu'à la fin de l'année. Les durées, les affectations, ça dépend aussi de la période de l'année mais je pense qu'il y a suffisamment de postes pour pouvoir faire ça sur une durée assez longue : des profs contractuels à l'année, ça existe. Ceux qui viennent d'avoir le CAPES, ils sont à la merci de l'Éducation nationale : c'est plutôt eux qui sont utilisés en bouche-trou. »

« J'avais demandé à avoir un demi service », raconte Victor. « Ils m'ont refusé ça : ils avaient besoin de gens en régime complet. C'est peut-être un peu ma faute, j'ai accepté parce que je n'avais pas envie d'être au chômage. C'est mieux de faire un mi-temps pour se garder du temps pour mieux analyser ses pratiques et se remettre en question. »

Flux tendu

Effectivement, l'emploi n'est pas de tout répit. Les deux normaliens, chacun avec dix-huit heures de cours par semaine (un service complet pour un titulaire du CAPES), s'accordent sur le rythme de travail élevé et sur la préparation des cours en flux tendu, semaine après semaine. « Tu rentres dans le bain direct avec toutes les classes, un peu le nez dans le guidon et pas de bouffée d'air de réflexion pédagogique. Je pense qu'enchaîner les cours empêche de bien réfléchir à la pédagogie, et être tout le temps à la bourre c'est pas évident », confie Victor, qui explique avoir utilisé certaines ressources d'internet, des morceaux de cours ou des activités.

Le début n'est pas beaucoup plus doux pour Adrien : « Mon premier cours a été sur les mécanismes réactionnels en chimie organique : j'ai fait MP, je n'en avais pas fait depuis ma terminale, donc depuis bien quatre ans. Tant pis. La prof que je remplaçais, en congé maternité, m'a donné tous ses polys sur le sujet. J'ai repris mes cours de terminale, que j'avais bien fait de garder... »

« Ça a été un travail toujours en flux tendu. Je tapais des polys pour quasiment tout, les cours étaient préparés du jour au lendemain. J'ai atteint une vitesse de tapage en L^AT_EX super rapide... J'ai énormément travaillé, probablement le plus intensément depuis la prépa. » Il faut dire qu'en tant de Covid, Adrien devait organiser les cours, la dizaine d'exercices hebdomadaire et le devoir maison qu'il donnait à la fois pour les élèves en présentiel et à la maison, sur des chapitres différents (les classes étaient alors séparés en deux groupes ne venant chacun au lycée qu'une semaine sur deux). « La première semaine, j'ai essentiellement travaillé sur les supports que m'avait donné la prof que je remplaçais mais sur les semaines qui ont suivi, je ne voulais plus. Tu ne peux pas donner de très bon cours sans avoir fait le matériel toi même. J'ai tout de suite fait un planning des chapitres qui me restaient à traiter sur les semaines de l'année. Je me suis assez bien tenu à cette progression. »

Tenir sa classe

Globalement, Adrien a eu un bon contact avec ses élèves. « Les élèves étaient très sympas. Je [les] entends à la fin de la classe deviner de quelle année j'étais. Ils n'ont pas trouvé, ils m'avaient un peu vieilli, c'était bien. » Les désagréments principaux tenaient de la tendance des élèves à vouloir éviter les devoirs, parfois combinés au côté « un peu usant » de la messagerie instantanée de l'espace numérique de travail : « Le summum a été la veille du DS de mécanique, que j'avais annoncé cinq semaines avant, avec deux semaines de vacances entre temps. À 22h35, je reçois cinq messages de cinq élèves me demandant d'annuler le DS. Je n'ai pas répondu... »

Victor, en revanche, relate des débuts difficiles avec certaines classes. « J'ai senti que ça s'est amélioré. Mais il faut

toujours faire vraiment gaffe : il y a eu des classes avec qui c'est mal parti, et c'est très dur de revenir après. Je me faisais déborder complètement. Notamment les quatrièmes, c'était une classe avec un accompagnant car un élève était en situation de handicap. Il est venu me voir à la fin du cours et m'a dit "Là c'est le bazar. Il faut vraiment que tu changes des trucs." Des fois, même un petit regard extérieur aide à se dire "C'est pas normal ce qui se passe là. Il faut que je remette un cadre." »

Lui et sa classe soudés par l'arrivée du confinement, Victor garde une note plus positive de sa relation avec les élèves : « À la fin, tu ne retiens que les bons souvenirs. Eux-aussi je pense. »

À vingt-deux ans en salle des profs

Adrien appréhendait beaucoup la réaction de l'équipe enseignante. « Ils voient que tu es jeune, tu débarques au milieu de l'année et tu peux paraître prétentieux, en plus tu es contractuel donc tu ne sais pas trop comment ça se passe... C'est aussi ce qui m'a fait choisir la physique par rapport aux maths : il y a toujours ce petit groupe des profs de physique, au sein des labos, avec les préparateurs... En fait, j'ai été intégré super vite et avec énormément de bienveillance par les autres profs. Tout de suite, les deux préparateurs (un de physique et un de chimie) m'ont super bien accueilli et m'ont présenté les autres profs. Ils étaient vraiment là pour m'aider. »

Il raconte avoir longuement discuté des cours avec quelques-uns de ses collègues, et reçu de bons conseils. « Le prof de maths est venu me voir au début de mon premier cours, pour me rassurer. Il m'a dit après coup qu'il était très étonné parce qu'en général à cette période de l'année (mi-mars), les professeurs remplaçants qui arrivent parlent à peine français, et qu'en physique il ne faut même pas espérer qu'ils savent faire des sciences... Il m'avait stalké sur internet aussi je pense. C'est le premier qui a su que j'étais normalien, puis la rumeur s'est propagée en salle des profs et des profs (plutôt de maths) sont venus me voir à la photocopieuse me demander : "Un tel m'a dit ton parcours, tu ne te fais pas trop chier?" Mais je n'étais pas dans cette optique! »

Seul professeur de physique à temps plein, Victor n'a pas pu profiter de ce « petit-groupe » : « J'étais un peu esseulé en physique-chimie. J'avais un emploi du temps qu'on qualifierait de pourri, avec plein de trous, mais du coup ça permet d'être beaucoup sur l'établissement et de connaître un peu tous les collègues. »

« Je ne disais pas que j'étais normalien, ils ne le savaient pas. Après quelques mois, c'est venu dans les discussions, mais l'ENS n'est de toute façon pas très "connue" du grand public. » En revanche, il précise : « Ça change complètement le regard de la direction. Tu n'es pas le petit vacataire qui a raté trois fois le CAPES et qui enchaîne les contrats cours. »

Jusqu'à la retraite ?

Si Adrien et Victor retirent tous deux de cette aventure un sentiment positif, leurs conclusions sur le métier sont plus en demi-teinte.

« Je suis assez partagé », avoue Victor. « Juste à la fin de l'année, je me suis dit que je n'avais pas envie de faire ça toute ma vie. En y repensant, il faut se dire que c'est un travail et que tout travail a son lot de côtés négatifs. Quand tu regardes la recherche, passer son temps à courir après des contrats ne fait pas forcément envie non plus. Les difficultés de gestion de classe que j'ai pu avoir diminuent aussi avec le temps et l'expérience. Même sans avoir été prof, faire une thèse et présenter des travaux devant collègues permet aussi de se sentir plus à l'aise et légitime ensuite devant une classe. Moi, je sortais de master et passait directement d'élève à prof, ce n'était pas évident. »

Au delà de ces réserves, Victor recommande vivement l'expérience : « Je ne regrette pas du tout, je trouve que c'était une bonne expérience. Je ne suis pas sûr que ce soit représentatif du métier de prof, mais c'est représentatif d'une partie et c'est toujours mieux que rien. »

Adrien partage cet enthousiasme : « J'ai adoré cette expérience d'enseignement. Je me suis éclaté. J'avais vraiment envie de le faire, j'ai eu beaucoup de chance parce que je suis tombé sur des conditions plus faciles avec le Covid et les demi-classes et avec des élèves gentils. Il y aurait des choses que je referais différemment en termes de choix pédagogiques, par exemple la mécanique. J'ai toujours aimé les cours magistraux mais j'ai peut-être trop fait ça, ça ne colle pas forcément à tout le monde. »

« C'était aussi sympa parce que je faisais ça pendant trois-quatre mois. Avec trois heures de transport par jour, si c'était permanent j'aurais un peu tiré la gueule... J'ai vu à quel point c'était beaucoup de travail. Je pense qu'on peut ne pas travailler beaucoup en tant que prof mais que ce sont les moins motivés qui le font. Sinon, les premières années, c'est énormément de travail, surtout quand tes cours ne sont pas prêts. »

« Je ne m'y verrais pas pendant quarante ans. Je réfléchis quand même à passer l'agreg, qui est un concours de recrutement : je n'ai pas l'intention de la passer sans enseigner derrière. C'était un peu la question à laquelle je voulais répondre en enseignant, et je n'ai pas la réponse. En fait, j'aimerais bien partir enseigner pendant quelques années, cinq ans, au bout desquels j'en aurai marre, puis partir faire autre chose et finir ma vie prof. Sauf que c'est pas possible, parce que dès que tu es prof tu es étiqueté et tu peux difficilement te réorienter vers un autre métier. Mais je ne me ferme pas la porte. »

Pour un mot final, il ajoute : « Faites prof. »

– Victor Lequin

Visite du PMMH : poissons, libellules et physique

Ce mois-ci, la NPR vous emmène à la découverte d'une équipe de l'équipe BIOMIM (Biomimétisme et interaction fluide-structure) du laboratoire PMMH (Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes). Quand on entre dans la salle de manip, on tombe nez à nez avec un aquarium autour duquel évoluent doctorants et post-doctorants ! Des ailes de libellules, des bancs de poissons ou des structures flexibles analogues aux forêts d'algues, tous ces thèmes forment l'équipe Biomimétisme, fondée en 2010 par les deux mécaniciens des fluides permanents de l'équipe Ramiro Godoy-Diana et Benjamin Thiria.



Figure 3 – Les poissons du labo !

Ramiro, chercheur CNRS, nous explique la thématique du labo : « On est venus par différents chemins à s'intéresser à des problèmes de locomotion animale. Au début, on a commencé avec les ailes battantes des insectes. On a beaucoup discuté avec les biologistes de problèmes de propulsion, et la question de l'élasticité couplée à l'aile battante. L'aile bat dans l'air et à la fois se déforme. Il y a ce couplage entre élasticité, déformation d'une structure et les écoulements autour qui est très riche du point de vue de la physique. » Comme l'explique Benjamin, la thématique du laboratoire évolue progressivement : « On a commencé par la locomotion animale en faisant des modèles réduits de physiciens, ce sont des objets artificiels. [...] Depuis 5-6 ans, on a introduit le vivant dans nos recherches, et ça nous force à nous intéresser à la biologie. Beaucoup de choses sont faites en collaboration avec le Muséum. »

Mais les thématiques du labo ne s'arrêtent pas juste à la locomotion animale ! « L'autre volet de la propulsion c'est la récupération d'énergie, explique Ramiro. On peut aussi poser une structure flexible quelque part pour qu'un écoulement arrive et interagisse avec l'objet. Au lieu d'avoir un objet qui dépense de l'énergie en bougeant comme une queue de poisson, on peut avoir un objet comme une éolienne ou de la végétation artificielle dans un champ de vagues qui se mettent en mouvement et établissent un échange énergétique

avec un écoulement qui est déjà en place. » Le fil conducteur de ces recherches est donc l'interaction entre une structure déformable et un écoulement. Cela n'empêche pas d'évoluer tout doucement vers des problèmes de comportements et de physique statistique, à travers l'étude de bancs de poissons par exemple. Benjamin déclare avec fierté : « Ici on a une liberté absolument sans limite. On travaille sur ce qu'on veut. On a toute une batterie d'outils pour analyser les résultats scientifiques. »

« Cette liberté, c'est un luxe. »

Cette belle équipe évolue au sein du PMMH qui est une unité mixte de recherche qui a quatre tutelles : le CNRS, l'ESPCI Paris, Sorbonne Université et Université Paris Cité. Dans les faits la tutelle hébergeante c'est l'ESPCI mais le personnel provient des quatre tutelles. Mais que peuvent bien fabriquer les doctorants, quand ils ne sont pas occupés à nourrir les poissons ?

Petits poissons dans l'eau

Commençons par comprendre pourquoi il y a un aquarium au milieu du labo. Ce sont une partie des centaines de poissons de Baptiste Lafoux, doctorant en 3^e année de thèse sur la nage collective des poissons. Il étudie comment la perturbation des paramètres environnementaux va modifier la structure du groupe de poissons. Baptiste nous raconte : « La nage collective se fait principalement via deux informations sensorielles entre les individus : la vision et la ligne latérale qui est un petit organe le long du corps des poissons qui leur permet de mesurer les fluctuations de pression de l'eau autour d'eux. On essaye de venir perturber indépendamment ces deux manières d'interagir avec leur voisin et leur environnement. On le fait d'une part avec la lumière : on fait nager un banc d'une cinquantaine de poissons et on vient modifier très lentement la lumière qui les éclaire. Puis on peut aussi perturber les poissons dans un canal de nage où on impose un écoulement sur un banc d'une dizaine de poissons. On perturbe la mesure de la ligne latérale en perturbant l'écoulement, par exemple en créant de la turbulence qui serait une sorte de bruit. La manière classique de créer la turbulence est de placer des grilles de diverses tailles devant l'écoulement. »

À partir des mesures, Baptiste peut traquer les poissons et extraire l'orientation de la ligne médiane ainsi que l'amplitude et la fréquence des battements de queue. Les poissons utilisent souvent la technique de nage *burst-and-coast* dans laquelle ils se propulsent et puis se laissent glisser. Avec son setup, il est capable de mesurer à quel point un groupe de poissons peut nager ensemble selon l'éclairage. À basse lumière il n'y a pas de mouvement collectif, et plus on augmente la lumière, plus on voit des comportements collectifs structurés et des mouvements ordonnés. Le doctorant aime

beaucoup tout cet aspect de conception de son setup. En tant que représentant des doctorants il nous confie aussi que : « Ce que j'aime bien aussi c'est tout cet aspect vie du labo, interagir avec des gens qui ne font pas du tout la même chose que toi. »

« On a de la chance d'être dans ce labo, c'est un endroit dans lequel y'a une culture de faire des choses ensemble, se parler entre doctorants même si on ne comprend pas toujours ce que les autres gens font. On ne se parle pas que de science. ». Il faut savoir qu'avant cette thèse il avait commencé une thèse à l'ENSTA sur l'aéroacoustique des éoliennes qu'il a arrêtée car cela ne lui plaisait pas. « Ce n'est pas commun mais dès que je peux, je dis que c'est quelque chose de bien d'arrêter sa thèse si on se rend compte que ça ne plaira pas. [...] J'encourage les gens à considérer la possibilité d'arrêter leur thèse. »



Figure 4 – Baptiste en train de nourrir ses poissons

La technique de nage *burst-and-coast* des poissons est une des inspirations de la thèse de Tristan Aurégan. Il étudie l'efficacité de la propulsion dans l'eau avec des idées bio-inspirées. Est-ce que les poissons utilisent le *burst-and-coast* pour des raisons énergétiques ou plutôt pour mieux sentir leur environnement ? On peut alors se demander si cette technique est limitée à la propulsion par nageoire ou si on pourrait la généraliser ? « On fait donc de la propulsion par hélice. Ma manip c'est un petit bateau qui avance et qui recule dans un canal et on mesure combien il consomme d'énergie. À vitesse fixée on voit si c'est mieux de faire du continu ou de l'intermittent. La réponse courte c'est que si on fait juste cette manip-là, il ne faut pas faire d'intermittence. En effet, un poisson a l'avantage d'être bien profilé alors qu'un bateau à hélice a toujours une forte traînée. Il faut donc un système qui permet de réduire la traînée quand on ne se sert plus de l'hélice. Une des manières c'est de changer la forme de l'hélice quand on ne s'en sert pas, qu'elle se replie. Quand on arrive à avoir un bon contraste de traînée entre la phase active et la phase passive, on observe en effet des économies d'énergie. Dans le régime le plus optimal, on a mesuré une économie de 20% d'énergie à la même vitesse ! L'autre partie

de la thèse c'est donc comment faire une hélice qui change de forme. On peut avoir des choses inélastiques, avec une petite charnière. Et on a aussi des systèmes élastiques : des hélices avec des pales totalement flexibles. En ce moment, on fait des hélices qui ressemblent un peu à des origamis. ». Cela ne signifie pas qu'on va pouvoir réduire la consommation globale des bateaux de 20% avec ce système, cela reste de la recherche fondamentale dont les applications industrielles restent encore à explorer. Ce que préfère Tristan c'est « concevoir et fabriquer mes expériences. On a la chance au labo de faire des manip à petite échelle et donc on peut encore tout faire et fabriquer soi-même. Ça ressemble à un grand jeu de Lego : se demander ce qu'on veut mesurer et comment on va le faire. C'est assez sympa, ça mélange des trucs très pratiques, du design 3D, de l'électronique, d'imaginer à quoi ça va ressembler! »



Figure 5 – Tristan réglant le canal où il teste ses hélices

Vole petite libellule !

Le vol des libellules est une autre technique de locomotion étudiée par Camille Aracheloff, doctorante en 2e année. Après un stage en photonique sur la technique de tapirage des plumes des oiseaux, elle fait à présent sa thèse sur les odonates (*Odonoptera*) : les demoiselles et les libellules. Ces insectes ont des capacités de vol exceptionnelles liées à une interaction fluide-structure. En étudiant les ailes, l'objectif de Camille est de pouvoir lier les différents paramètres d'une aile prise en photo aux capacités de vol des libellules. Avec plus de 6700 espèces, il existe



Figure 6 – Camille à côté de sa manip

une diversité folle et autant de comportements de vols différents. Les libellules ont quatre ailes qu'elles peuvent toutes désynchroniser et onduler dans deux directions. Avant d'étudier le vol battu, il a d'abord fallu faire une caractérisation mécanique des ailes. La doctorante insiste sur un aspect fondamental de cette recherche bio-inspirée : « ce n'est pas parce que tu as un spécimen que le voisin va être identique. Alors qu'en physique on aime bien arriver à faire une expérience bien reproductible et à faire une mesure bien précise sur un échantillon. Ici aile droite, aile gauche sont différentes, entre deux spécimens ça évolue et entre espèces la différence est encore plus grande. »

« La particularité de ma thèse c'est que je veux faire une étude comparative. Étudier très bien une aile de libellule, ça a déjà été fait. [...] Là où je suis un peu entre la physique et la bio, c'est que typiquement je ne veux pas faire 100 ailes de libellule d'une même espèce. L'idée c'est de voir le panel général. »



Figure 7 – Moteur vibrant où est fixée l'aile de libellule

La suite de son travail est donc de fabriquer des ailes artificielles avec un modèle très simplifié : un bord d'attaque et une veine radiale dont on fixe l'angle. « Les paramètres de l'aile les plus importants à étudier vont être le rapport d'aspect (longueur sur largeur) et deux structures de l'aile et leur localisation : le nodus et le ptérostigma. » L'étude expérimentale de Camille s'inscrit à la suite de nombreux travaux numériques sur les ailes des libellules. « Il y a eu un accroissement de l'intérêt pour ces insectes d'un point de vue ingénierie ces dernières années à cause des drones. Avec notamment un accent mis sur les petits drones et les insectes car leurs performances de vols peuvent être assez impressionnantes. »

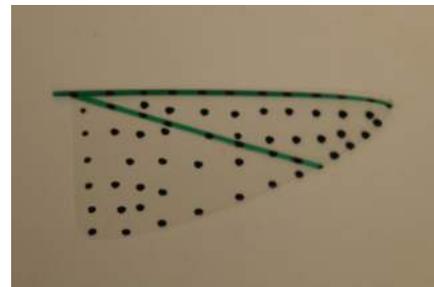


Figure 8 – Aile artificielle avec bord d'attaque et veine radiale

Camille aimerait être enseignante-chercheur en physique et elle fait de l'enseignement en Master de biologie au Muséum. « L'enseignement c'est très très sympa et quand tout se passe mal dans votre thèse, que vous avez l'impression de ne pas avancer, vous pouvez toujours vous dire que les élèves ont au moins compris un truc! » En attendant elle a des idées plein la tête, elle aimerait suivre une semaine de formation sur le dessin scientifique pour apprendre à exercer son regard et traquer les détails, et va continuer ses excursions en forêt avec une lampe UV pour observer les merveilles de la nature.

L'énergie des vagues

Place à l'autre aspect de la locomotion animale : la récupération d'énergie grâce aux structures flexibles. Comme l'explique Alexis Mérigaud, en post-doc, « les systèmes classiques pour absorber ou dissiper l'énergie des vagues sont classiquement des systèmes rigides. [...] Mais par ailleurs les biologistes savent que les forêts d'algues près des côtes ont des fortes capacités d'atténuation des vagues, tout en étant capables de résister aux tempêtes. On se dit donc que la flexibilité du matériau peut permettre d'absorber ou de dissiper l'énergie des vagues tout en résistant mieux. »

Gatien Polly en 3e année de thèse travaille sur l'interaction vague-structure en petit bassin expérimental. « Mon but c'est de caractériser la façon dont des petits objets élastiques vont bouger dans les vagues. Pour ça j'utilise une cuve à houle qui fait 2 mètres de long. Ce sont des études expérimentales qui existent mais à très grande échelle. Un des buts de la thèse c'est aussi de montrer qu'on peut faire ça pour 100 fois moins cher et qu'avec une manip de coin de table on peut déjà voir des choses intéressantes et voire même des choses en plus. Je regarde principalement des membranes en plastique élastique de 30 cm de long immergées à une profondeur donnée sous la surface et que je fais osciller du fait des vagues. Je fais de la PIV (Particle Image Velocimetry), ce qui serait quasi impossible en grand bassin. » Avec cette technique il peut mesurer toute la surface libre de la membrane de manière très précise et pas seulement en quelques points discrets comme on ferait en grand bassin. Le revers de la médaille est que les petites longueurs d'onde utilisées vont diffuser sur des longueurs beaucoup plus petites et l'énergie des vagues va être perdue plus rapidement. « Cette dissipation est le problème principal de la cuve par rapport au grand bassin. » Gatien a réalisé un modèle linéaire du mouvement de la membrane qui arrive à globalement bien prédire l'amplitude de la membrane et à caractériser l'influence des vagues sur le mouvement de l'objet. Ces membranes sont typiquement le type d'objet qui est actuellement utilisé dans le cadre de la récupération d'énergie mais il n'y a pas de setup électrique sur la manip actuelle, car on est très éloignés des conditions en mer.



Figure 9 – Gatien et Alexis en train d'examiner la cuve à houle

Alexis Mérigaud, après une thèse en Irlande sur l'énergie des vagues, fait son deuxième post-doc au PMMH tout en étant à mi-temps ingénieur de recherche à l'IFPEN (Institut Français du Pétrole et des Energies Nouvelles). Il a pris la suite de travaux sur l'étude théorique de structures verticales, à l'image des forêts d'algues. Il fait aussi des expériences sur de grands bassins qui permettent d'analyser les flux d'énergie et de mesurer à quel point on aura contribué à protéger le littoral par exemple. « Faire le lien entre théorie et ces expériences en 2D permet vraiment d'établir un cadre conceptuel intéressant, avec une représentation géométrique de l'énergie transmise, réfléchi et absorbée qui permet de comprendre comment vont évoluer les propriétés en fonction des paramètres. » Il s'agit alors de comprendre les mécanismes de dissipation de l'énergie des vagues. Pour Alexis et les forêts d'algues la dissipation est due aux phénomènes de traînée avec la formation de petits tourbillons au niveau des bords abruptes, ainsi qu'à la flexibilité du matériau. En ce qui concerne la membrane oscillante de Gatien, on s'attendait à ce que la dissipation soit liée à la formation de turbulence. Mais en réalité l'oscillation crée un jet à la manière d'une pale. La dissipation viendrait de la création et du relâchement de vortex à chaque oscillation.

Le sujet de l'énergie des vagues plaît tout particulièrement à Alexis : « Je trouve que c'est un sujet qui a une finalité relativement concrète et qui suscite pleins de questions scientifiques et de défis techniques passionnants et nécessite des questions pas traditionnelles en hydro, en mécanique, en traitement du signal. »

« J'aurais une mentalité plus proche de la R&D mais j'aime bien faire de la bonne recherche, je n'aime pas être pris dans un projet de court terme. Il faut aussi de la place pour les chercheurs qui ont ce profil là, qui vont prendre le temps de proposer des solutions vraiment innovantes grâce aux outils de différentes disciplines autour d'une finalité concrète. Ça m'angoisserait au plus profond de ne pas avoir cette utilité, mais c'est aussi parce que je n'ai pas le profil de l'enseignant. »

Pour Gatien au contraire, cette finalité concrète ou les ap-

plications industrielles ne sont pas une finalité en soi. « Le chercheur est aussi un enseignant. Et pour être un bon enseignant, il a besoin de la recherche. Typiquement un article publié dans JFM (*Journal of Fluid Mechanics*) sur les bébés canards qui surfent les vagues créées par la maman canard a une utilité car il permet au chercheur d'être un bon prof à côté, qui peut transmettre les méthodes. Cela justifie pour moi toute la recherche. ». "Ce que je trouve d'intéressant dans notre sujet c'est qu'il n'y a pas besoin de partenariat avec les industriels pour avoir des questions de physique intéressantes. Il y a de la physique à faire autour des comportements d'objets dans les vagues, c'est toujours intéressant. »

Ce qui touche Alexis « c'est de voir la diversité de profils des gens qui peuvent être de bons chercheurs et faire de bonnes thèses. Il y avait des gens qui avaient tout le bagage théorique pour, qui parlaient en thèse dans la continuité de ce qu'ils avaient fait avant. Et j'ai aussi vu des gens débarquer, qui ne parlaient pas un mot d'anglais et qui n'avaient pas autant de connaissances scientifiques que les autres. Mais ils ont su trouver leur place en faisant des travaux expérimentaux en collaboration avec d'autres chercheurs qui ont vraiment su faire des choses utiles. Ils ont tout à fait leur place dans un écosystème de recherche et c'est peut-être quelque chose de pas assez valorisé en France. »

Un labo où il fait bon vivre

L'équipe biomimétisme ce n'est pas seulement des thèmes de recherches passionnants, c'est aussi une très bonne ambiance et de l'entraide. Pour Alexis « c'est super d'avoir un groupe de recherche avec des personnes ayant différents par-

cours et différents points forts. Ça permet qu'on se forme les uns les autres. » Ici les discussions vont bon train et chacun dédie du temps à aider les autres à résoudre leurs problèmes. Cette ambiance semble même générale à l'échelle du labo entier comme nous le confie Benjamin : « Le PMMH c'est un lieu spécifique. L'ambiance est extrêmement bonne, la communication entre les équipes est extrêmement développée. On discute beaucoup avec les autres équipes dans les couloirs ou à la cantine, on est très attentifs à ce qu'ils font. On a un peu tous le même esprit. [...] C'est un lieu où la discussion avec les autres équipes est une vraie émulation. »

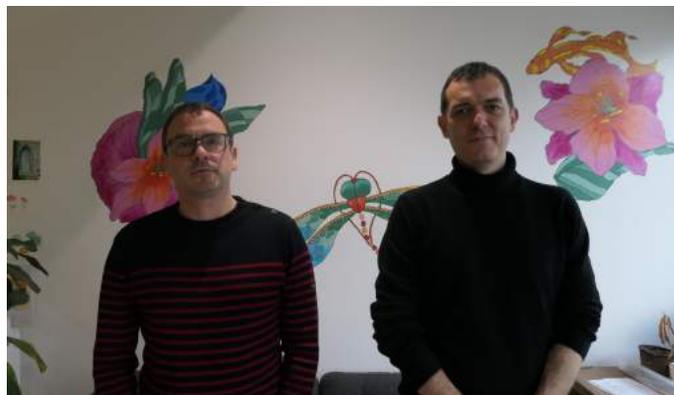


Figure 10 – Benjamin et Ramiro

Si vous vous intéressez à la physique macroscopique, n'hésitez pas à venir visiter le labo! (C'est à Jussieu, c'est pas loin!)

– Oriane Devigne

SIR, I HAVE A QUESTION

New problems

For each new year, new questions! Actually, for each new month but... still something to celebrate!

- I** : When hurricane Katrina happened in 2005, the pressure locally dropped at around 900 hPa, what was the effect on the sea level?
- II** : What determines whether snow stays on the road it falls on or quickly melts?
- III** : Which distance to the Sun should one be to perfectly cook a Christmas turkey only with sunlight?
- IV** : When one cooks pasta in a pan covered with a lid, foam may appear – and eventually boil over. Why? What about milk?
- V** : What's the physical principle behind backwash?

- VI** : When a droplet slides down a surface (like a glass), it may leave behind a trail of smaller drops. What determines their size and spacing?
- VII** : Some funfairs have coin pushing machines, where one drops a coin with the hope of displacing others so as to create avalanches and get some other tokens or a prize. How should one choose where to drop the coin to have best chances of winning?
- VIII** : What's the frequency of "glog" sounds made by some bottles when pouring water?
- IX** : It is known that a candle that has been put off can be relit simply by bringing another flame to light its smoke on fire. But what is the velocity of the propagation of fire in that smoke?
- X** : Montrouge is also host to an odontology department. If you were a dentist, what material would you pick to make a tooth so that it has the least chances of breaking if you bite into a *fève* of a *galette des rois*?

MYSTERY PHOTO

Solution of N_{23}

Les origamis d'ADN sont des nanostructures composées d'une molécule d'ADN circulaire (nommée M13) repliée sous une forme préalablement programmée. Ils sont formés grâce à l'ajout d'un cocktail d'oligonucléotides (courts ségments d'ADN) de différentes séquences, qui s'apparient à des parties spécifiques du M13, et forcent ce dernier à se replier selon la forme désirée, en suivant l'appariement spécifique des paires de bases. Cette méthode récente, très simple à mettre en œuvre est d'une grande précision. Elle permet en effet, non seulement, de programmer à volonté la formation de pratiquement n'importe quelle forme bi- ou tri- dimensionnelle souhaitée, mais aussi de fonctionnaliser ces structures sur des sites très précis, avec des entités variées (comme des protéines, des fonctions chimiques ou des nanoparticules).

Ces images ont été observées par Asylum Cypher HS-AFM. Laboratoire PASTEUR, Equipe Baigl, ENS chimie.

– Farah El Fakih

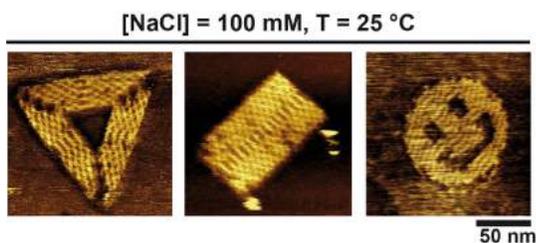


Figure 11 – Photo of N_{23}

Photo of N_{24}

Well now, what could that small bead be doing?

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank all who contributed and supported us! Particular thanks go to Jean-François Allemand, for his contacts and precious advice, as well as for Farah El Fakih for her kindness and her beautiful mystery photo. And as always thank you, dear reader!

We need you! If you would like to contribute, submit questions or provide feedback, please contact us :

– **Juliette Savoye** φ_{21} :
juliette.savoye@ens.pls.eu



Figure 12 – Mystery photo of N_{24}

- **Victor Lequin** φ_{21} :
victor.lequin@ens.pls.eu
- **Oriane Devigne** φ_{21} :
oriane.devigne@ens.pls.eu
- **Esteban Foucher** φ_{20} :
esteban.foucher@ens.pls.eu
- **Guillaume de Rochefort** φ_{19} :
guillaume.de.rochefort@ens.pls.eu

(The Editorial Board)

<https://www.facebook.com/NormalePhysicsReview>

<https://normalephysicsreview.netlify.app>

If you like the review, please be sure to subscribe to its mailing list on the website!