



Normale
Physics Review

INPR

École normale
supérieure

— *Fights Bohr-dom* —

Édito N_{28} : Bonne rentrée !

Cher Physicien, Chère Physicienne,

Bienvenue à tous les conscrits au département de Physique de l'ENS ! Alors que les cours ont repris ce mois-ci, nous avons accueilli de nouveaux rédacteurs foisonnant d'idées pour la revue dès la première réunion éditoriale. Notre association en devenir reste ouverte à tous pour de nouveaux projets trépidants en 2023-2024 et nous remercions le département de physique pour son accueil à la conférence de rentrée !

Dans ce numéro 28, à peine une semaine après la publication de la tribune pour la création d'un centre de recherche publique dédiée à la transition écologique, la NPR vous restitue un entretien exclusif avec un de ses instigateurs, Lydéric Bocquet. Nos conscrits vous présenteront également le sujet de concours qu'ils ont préféré traiter, dans notre deuxième édition de la Normale Concours Review. Enfin, plongez dans la recherche en vulgarisation dans un brillant entretien avec Julien Bobroff.

Pour votre lecture de rentrée vous trouverez enfin deux nouvelles rubriques : un nouveau calendrier restituant quelques événements scientifiques majeurs dans le mois à venir et aussi une rubrique très normalienne qui vous apportera des témoignages de physiciens dans d'autres départements au cours de leur quête du DENS. Notre communauté de lecteurs est la bienvenue pour nous partager des événements ou des enseignements qu'ils aimeraient diffuser.

– Guillaume de Rochefort pour l'équipe de rédaction

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| Physicist's life | 2 |
| Le Nobel de l'attoseconde | 2 |
| Tout sur le « Projet Manhattan de la transition écologique » avec Lydéric Bocquet | 2 |
| La Physique Autrement avec Julien Bobroff : Comment enseigner et vulgariser la physique différemment? | 5 |
| Normale Concours Review | 10 |
| Alors on DENS | 10 |
| Calendrier | 11 |
| Sir, I have a question | 11 |
| Mystery photo | 12 |
| Solution of N_{27} | 12 |
| Photo of N_{28} | 12 |
| Acknowledgements | 12 |



normalephysicsreview.
netlify.app



facebook.com/
NormalePhysicsReview

PHYSICIST'S LIFE

Le Nobel de l'attoseconde

Ce mardi 03 octobre ont été révélés les récipiendaires du prix Nobel de physique 2023. Félicitations donc à Anne L'Huillier, Pierre Agostini et Ferenc Krausz! Ils ont obtenu le prestigieux prix pour "leurs travaux sur les impulsions lasers très courtes permettant de suivre le mouvement ultra-rapide des électrons à l'intérieur des molécules". Revenons rapidement sur les recherches qui ont conduites à ce prix Nobel.

Les trois physicien.nes ont été récompensés pour la mise en œuvre de nouvelles méthodes expérimentales permettant la création d'impulsions lasers ultra courtes (de l'ordre de l'attoseconde!). Ces méthodes développées depuis la fin des années 1980 permettent l'observation d'harmoniques d'ordre très élevé dans des gaz rares. Le développement des lasers

attosecondes a notamment permis de suivre "en direct" le déplacement des électrons au cours de réactions chimiques, ainsi que de suivre leur mouvement autour de noyaux atomiques.

Anne L'Huillier et Pierre Agostini, tous deux français (de formations respectives à l'ENS de Fontenay-aux-Roses, devenue en bref l'ENS de Lyon et à l'Université d'Aix-Marseille), enseignent respectivement à l'université de Lund en Suède et à l'université d'État de l'Ohio aux États-Unis. Ferenc Krausz est directeur de l'institut Max Planck d'optique quantique en Allemagne. Anne L'Huillier est seulement la 5^{ème} femme récompensée du prix Nobel de physique, après Marie Curie (1903), Maria Goeppert Mayer (1963), Donna Strickland (2018) et Andrea Ghez (2020). Remarquons qu'Anne L'Huillier est membre de l'académie Royale des sciences de Suède en physique depuis 2004 et membre du Comité Nobel de physique depuis 2010!

– Lukas Péron

Tout sur le « Projet Manhattan de la transition écologique » avec Lydéric Bocquet

Lundi 25 septembre, l'actualité française était écologique. Les annonces du président Emmanuel Macron sont certainement celles qui ont touché le plus grand nombre, mais pour une partie de la communauté scientifique, c'est une tribune publiée dans *Le Monde* qui en a promis le plus. Le texte, dont les principaux instigateurs comprennent Lydéric Bocquet, chercheur au LPENS et membre de l'Académie des Sciences, Yves Laszlo, mathématicien à l'université Paris-Saclay et Mathieu Lizée, doctorant au LPENS, décrit l'idée d'un « projet Manhattan de la transition écologique », nom choc d'un hypothétique centre de recherche où les scientifiques français et européens travailleraient de concert aux enjeux du changement climatique. Si le récent blockbuster *Oppenheimer* offre une accroche bienvenue pour la communication de cette ambitieuse entreprise, l'idée (et même le terme « projet Manhattan ») flottaient dans l'air depuis plusieurs années. Devant un but d'une telle ampleur, nombreuses sont les questions qui viennent à l'esprit en lisant la tribune – nous avons pu faire part de nos interrogations à Lydéric Bocquet.

Normale Physics Review : Le projet Manhattan avait un but précis. Ici, il y a une multitude de projets possibles : que sera-t-il fait en pratique ?

Lydéric Bocquet : Pourquoi l'a-t-on appelé « projet Manhattan » ? C'est un mot assez fort et y a beaucoup de symboles

(un peu funestes). Ce qui avait marché dans le projet Manhattan, c'est qu'il y avait la meilleure science avancée de l'époque. La physique quantique avait à peine émergé et ils ont réussi à faire ce passage jusqu'à une sorte d'industrialisation. Il y a eu ce côté de réussir à faire la mise à l'échelle gigantesque des idées scientifiques : le point de départ, c'est dire que pour ce combat gigantesque pour le climat, on devrait faire la même chose. Mais qu'est ce qu'on va faire exactement ? C'est de prendre quelques sujets pointus où on sait qu'on peut avancer : la science de rupture. On ne va pas faire de la science appliquée et développer incrémentalement des choses. Il y a des domaines où il y a des choses qui émergent dans les laboratoires, mais qui sont très difficiles à mettre à l'échelle pour avoir un impact.

Un exemple que j'aime bien, c'est tout ce qui est autour de la catalyse à atome unique (*Single Atom Catalysis*, SAC). Ce sont des résultats très récents. Ce qui est intéressant, c'est des performances exceptionnelles. Tout de suite, on se dit que cette nouvelle catalyse peut être utilisée pour la synthèse de l'ammoniac. Pour l'instant, c'est fait par un procédé qui s'appelle Haber-Bosch, qui produit un milliard de tonnes de CO₂ par an. Ça peut aussi être utilisé pour la transformation du CO₂ lui même en composés chimiques. Ça peut être utilisé pour la production d'hydrogène par électrolyse, mais directement avec l'eau de mer. J'ai pris *de facto* un sujet un peu chimique : je ne vend même pas ma paroisse ! Prendre une découverte scientifique qui pour l'instant reste à petite échelle, qui peut avoir un gros impact et simplement voir comment on fait cette mise à l'échelle : c'est ça le plus dur, et c'est ça qu'on veut faire.

NPR : Comment organiseriez-vous ce centre de recherche ? Y aurait-il des départements par discipline ou plutôt par projet ?

L.B. : L'idée, c'est vraiment d'une organisation par projet, par question ou développement de rupture. Derrière, il y a des physiciens, des chimistes, des mathématiciens, des biologistes et on pense même à aller jusqu'aux sciences économiques, le droit, etc. À un moment donné, on a peut-être besoin ponctuellement d'avoir un mathématicien pour résoudre une équation : à ce point là, il faut travailler avec lui directement. C'est plutôt très transversal au niveau des chercheurs et ingénieurs qui travaillent là-dedans (c'est un centre de recherche *vers l'industrialisation*).

J'ai eu cette chance de suivre un peu ce processus, à mon échelle, où on avait obtenu des résultats de laboratoire extrêmement intéressants pour l'énergie osmotique. On a fait ça à l'échelle de nanotubes : des choses ultra fondamentales. Maintenant, il y a une startup qui a 40 employés, qui va faire un pilote l'année prochaine. Et on voit que dans ces startups, les questions divergent complètement. C'est à dire qu'il y a des questions de fabrication de membranes (beaucoup de chimie) des questions d'électrochimie, parce que les électrodes jouent un rôle considérable, des questions numériques... On voit tout de suite, sur un projet comme ça, qu'on a besoin de toutes les compétences. Dans le cadre de cette startup, j'ai appris plein de choses sur l'électrochimie, sur les matériaux... Donc il faut que ce soit très transversal et surtout qu'il n'y ait pas de cloisonnement.

NPR : Parmi les nombreuses technologies prometteuses, comment sera faite la sélection ?

L.B. : Il y aura forcément des paris, ce sera une recherche à risque. Il y aura un conseil scientifique, qu'on appelle consultatif, au sens où ce conseil va donner des suggestions fortes. C'est l'idée d'avoir un pool de scientifiques engagés au meilleur niveau pour se connecter à la communauté. Au début, il va forcément y avoir des discussions, des compromis, des choix. On va peut-être faire une liste exhaustive de 40 phénomènes scientifiques de rupture qui permettent de faire un impact, il va peut-être falloir en choisir au début 10. Ce choix, on l'espère, c'est le bon et c'est ça le risque, qu'il va falloir assumer complètement.

« *La recherche, c'est un pari en permanence.* »

NPR : En plus des technologies nouvelles, s'agirait-il aussi d'améliorer des technologies existantes, comme les panneaux solaires ?

L.B. : D'une certaine façon, ça existe déjà beaucoup. On ne veut pas entrer en concurrence avec des programmes déjà établis, ce que j'appellerais (avec de la prudence) des développements plutôt incrémentaux. C'est plutôt l'idée d'aller chercher vraiment des choses encore plus amont, et de les amener très aval, jusqu'à l'industrialisation.

NPR : Combien de temps un.e scientifique travaillerait-il.elle typiquement dans ce centre ?

L.B. : C'est un projet à durée finie. Là on a mis 25 ans parce que 2050 est une date clé. Un point clé, pour nous, c'est l'engagement : quand on s'engage là-dedans, et on le voit bien dans le biopic [sur Oppenheimer], c'est qu'on s'engage à 100% là-dedans. D'un seul coup, on décide de mettre entre parenthèses sa carrière. Ça peut être une parenthèse de quatre ans, cinq ans ou dix ans – ça dépend vraiment de chacun. Ça veut dire que pendant ce temps là, on sort un peu du système académique usuel mais par contre, on est pleinement un chercheur parce qu'on est pleinement à travailler et à faire tourner son cerveau sur des questions très très pointues.

NPR : Est ce que vous comptez construire des bâtiments ou travailler dans des endroits existants ? Le projet sera-t-il neutre en carbone dès son commencement ?

L.B. : Si la première étape du projet, c'est de faire du béton, c'est un peu dommage. Le premier point, c'est que pour nous, il nous semble important d'avoir un lieu. On pourrait faire un projet sur plein de laboratoires délocalisés (un hub), et c'est une possibilité, mais ça me paraîtrait infiniment plus efficace d'être tous au même endroit. Après, il y a des bâtiments qui existent déjà, c'est pas la peine de reconstruire. Clairement, l'idée, ce n'est pas de refaire du béton tout de suite.

NPR : Quelles seraient les interactions avec l'industrie ? Les technologies développées émergeraient-elles seulement par des startups, ou aussi en collaborant avec des industries déjà existantes ?

L.B. : C'est une question difficile parce que l'industrie a un business model. Un exemple, c'est les canalisations en fonte. On a du mal à les remplacer par des canalisations en plastique parce qu'il y a un marché, il y avait les fonderies... Pour passer de l'un à l'autre, il a fallu énormément de temps. Donc notre point de vue, c'est que cette transformation se fera sûrement à l'aide des filières existantes si elles participent mais probablement, elle se fera aussi indépendamment avec la création de nouvelles filières. Dans mon expérience personnelle, les startups ont toujours été un outil à un moment donné pour transformer la science en processus de mise à l'échelle. Il y aura des entités un peu comme des startups –

est-ce que ce sera vraiment une startup financée par le privé ? C'est pas du tout évident : là on parle plutôt d'un programme d'État, mais en tout cas, c'est l'idée d'une structure qui sort une fois que la recherche est vraiment bien établie, qui fait la mise à l'échelle, et l'espoir c'est de la faire devenir une structure industrielle.

L'industrie est là. Est ce qu'ils vont aider ? C'est pas complètement clair parce que leur intérêt n'est pas forcément là, mais il ne faut pas que ça se bloque le projet : il ne faut pas tout de suite mettre l'industrie au cœur du problème. Il faut que ça arrive, mais plus tard.

NPR : Un clivage important sur la transition écologique, c'est l'opposition entre solutionnisme et sobriété, voire décroissance. Avez-vous crainte que, socialement et politiquement, ce projet soit vu comme un rêve solutionniste et éclipse la nécessité d'autres actions ?

L.B. : De façon évidente pour toutes les personnes qui ont signé la tribune et ceux du groupe cœur qui travaillent dessus, c'est clair que la transition ne peut pas se faire seulement par la science et la technologie. On sait que ça va être un pilier, mais que l'autre pilier, qui est une transformation politique et économique, il est forcément là. Pour la tribune, nous on ne parle que de ce que l'on connaît. De toute façon, on ne pourra pas se passer de la science et la technologie : moi, ça me choque le fait qu'à Mayotte il n'y ait de l'eau qu'un jour sur trois et donc il faut au moins ponctuellement proposer des solutions qui soient efficaces pour Mayotte, pour beaucoup de choses. Mais évidemment, *de facto*, vu l'ampleur, il y aura forcément un autre pilier, politique. Là, je ne suis pas compétent mais dans ce centre on imagine bien avoir des économistes, des politologues... Dans la tribune, il y a des personnes de ce type là qui ont signé. Il faut construire cette offre de ce côté là, construire de nouveaux modèles économiques, etc. C'est des choses sur lesquelles je ne peux pas me prononcer et en plus sur lesquelles il y a une interférence du politique avec un petit "p" très forte – on ne peut jamais rester hors de la politique complètement mais en tout cas, il faut absolument qu'on fasse cette science de façon autonome pour la porter jusqu'au bout. Mais cette autre partie, pour nous, c'est clair que ça doit être là.

« C'est clair que la transition ne peut pas se faire seulement par la science et la technologie. »

NPR : Vous demandez un budget à l'échelle du projet, énorme. Comment le justifier économiquement ?

L.B. : Pour le financement, on a des pistes qui n'impactent pas le citoyen. C'est un peu l'idée déjà. Et après, sur le long

terme ? C'est pas juste un mot de dire qu'on veut développer de nouvelles filières. Ça veut dire de nouveaux emplois, des brevets. Comme c'est un système d'État, forcément, ces brevets appartiendront à l'État. Par rapport aux autres pays, si la France fait ça, ça veut dire qu'elle aura structuré son avenir sur 25 ans et ça ne sera pas un changement incrémental de l'industrie : ce sera vraiment quelque chose qui n'existait pas avant. Il y a des répercussions financières. La rétribution, elle est de plein d'aspects différents : il y a une rétribution financière avec les brevets, les parts, sans doute, que l'État aura dans les sociétés. Mais au delà, ce sont les emplois et le fait de donner des conditions de vie à toute une société, qui soient vraiment pertinentes.

Et après, il y a aussi le côté négatif qu'il ne faut jamais oublier. À un moment donné, on risque de tomber dans un monde non assurable. On a vu ce qui s'est passé en Libye : ça, c'est typiquement un événement du réchauffement climatique. Et bien ça, les coûts en assurance sont gigantesques. Et pour l'État ça sera des coûts aussi, parce que l'État ne peut pas laisser les structures à l'abandon... Donc là je prends le pendant un peu négatif, mais c'est vrai que si on peut éviter ce négatif, ce serait déjà énorme.

NPR : Ce projet s'inscrit sur le temps long. Quelle sera sa relation aux jeunes chercheur.euse.s ?

L.B. : Moi, j'ai 55 ans, j'ai des enfants de votre âge. Très clairement, ce projet là, c'est pour me regarder dans la glace face à votre génération. Mon espoir, c'est que ce soit votre génération qui porte ce projet. Ce qui me marque, c'est une sorte de démission actuellement des gens qui ne trouvent plus de sens à leur métier d'ingénieur, de scientifique parfois. Mais on a besoin de tous ces ingénieurs, ces scientifiques. Je voudrais montrer que là, il y a une opportunité de faire autrement, ne pas démissionner mais au contraire de s'engager. Donc pour moi, c'est long et finalement bien au delà de ma retraite mais l'idée, c'est de passer le flambeau, au moins d'avoir construit quelque chose, les bases de quelque chose qui puisse vous être utile, vous, à votre génération.

« Ce projet a besoin qu'il y ait des scientifiques très bien formés et des ingénieurs très bien formés qui aident à développer une nouvelle industrie complètement différente, une nouvelle société différente. »

NPR : Comment voyez-vous la communication autour de ce projet vis-à-vis du grand public ?

L.B. : La communication, pour moi, ça doit être qu'il faut redonner une forme d'espoir, c'est le passage à l'action. Pour moi, le GIEC, c'était un peu le constat, et là maintenant le

constat il est là. Il faut dire à la population : on essaie, on y va. On vous promet rien, mais on va vraiment essayer de toutes nos forces. Après, c'est aussi un message à la jeunesse, clairement. C'est dire que ne n'est pas le moment de baisser les bras, il y a encore des possibilités de faire des choses. Et aussi, c'est un message à mes collègues scientifiques en disant : allez-y ! C'est pas tout de dire « OK, je vais moins en conférence, je prends moins l'avion ». Ça, tout le monde sait le faire. Mais par contre qu'est ce qu'on propose ? Je pense

que n'importe quel scientifique peut proposer quelque chose, même s'il est très loin, c'est pas grave.

Mon terrain de jeu, c'est la science fondamentale. C'est absolument génial, c'est l'avancement de la connaissance. Sauf que là, on a une sorte de situation « de guerre » et donc il faut peut-être changer de façon d'aborder le problème. Je suis juste un scientifique qui ne veut pas baisser les bras.

– **Propos recueillis par Thomas Ben Moussa et Victor Lequin**

La Physique Autrement avec Julien Bobroff : Comment enseigner et vulgariser la physique différemment ?

Si vous lisez régulièrement de la NPR, vous avez peut-être remarqué qu'on s'intéresse régulièrement aux problématiques d'enseignement et de vulgarisation. Comment vulgariser la physique, cette science qu'on aime tant, au grand public ? Comment partager cette discipline à l'école pour encourager les élèves à continuer dans cette voie ? Nous avons aujourd'hui le plaisir de recevoir Julien Bobroff, chercheur en physique quantique et chercheur en didactique.

Professeur à l'Université Paris-Saclay, Julien Bobroff a étudié les solides à basse température et en particulier la supraconductivité ou le magnétisme quantique pendant vingt ans. Il y a dix ans, il arrête cette activité pour monter une nouvelle équipe de recherche qui s'intéresse à la question de la vulgarisation et de l'enseignement de la physique. C'est ainsi qu'il crée l'équipe La Physique Autrement (LPA) au sein du laboratoire de Physique des Solides (UPSaclay / CNRS). En 2022, le physicien reçoit la médaille de la méditation scientifique du CNRS.

La recherche en vulgarisation se compose en 4 parties :

1. La collaboration avec les designers : « On s'est très vite rendu compte que nous, en tant que physiciens formés à la physique de façon classique, étions très mauvais pour innover et pour inventer des choses nouvelles. On a donc commencé à travailler avec des gens peut-être un peu décalés ou plus créatifs que nous, que sont les designers au sens très large du terme. Ça peut être des illustrateurs, des vidéastes, des designers objets, etc. ». Cela leur permet d'imaginer ensemble de nouveaux formats et de nouvelles façons de vulgariser.
2. Le test devant le public dans une conférence, une exposition, une fête de la science etc.
3. La diffusion et la dissémination des connaissances. « Trouver les gens qui vont nous aider à diffuser comme des professeurs de physique de lycée, des musées de

sciences, les collègues, ou bien nous-mêmes sur les réseaux sociaux. On travaille cette diffusion pour que le projet ne reste pas confidentiel dans son coin et que d'autres gens puissent l'utiliser. »

4. La recherche : « Ce n'est pas une recherche en physique fondamentale comme je le faisais avant. C'est une recherche en didactique ou dans les sciences du design. Pour cela on le fait en lien avec des gens du monde des sciences humaines et sociales qui savent étudier ces choses-là. On collabore avec eux pour écrire des articles, pour aller dans des conférences et pour étudier ce qu'on fait et l'améliorer. »

Une vingtaine de projets par an sont créés par le groupe de recherche et sont tous en libre accès en ligne sur le site de LPA et traduits en anglais afin d'être utilisés à l'international.

Recherche en didactique

La recherche en didactique est tout un champ scientifique. L'équipe de LPA travaille en ce moment beaucoup avec l'UQAM, une équipe à Montréal. « C'est exactement la même chose que en physique, c'est-à-dire qu'il y a des protocoles, des analyses, des mesures et on essaie d'être le plus scientifique possible pour répondre à une petite question. On ne va pas répondre à des questions globales du type "comment enseigner mieux ?" ce qui n'aurait aucun sens. C'est comme si on disait "comment refaire la physique ?". On va essayer de répondre à une question précise. »

L'équipe a par exemple développé des enseignements par la fiction où les étudiants sont plongés dans une fiction. Ils doivent alors résoudre pleins de choses en direct, par exemple sauver une fusée à distance ou aider un espion nord coréen. La question est de savoir si enseigner la physique expérimentale à travers une fiction change l'apprentissage. Il a été trouvé que les étudiants sont plus engagés émotionnellement sans que cela ne change la manière dont ils apprennent. Ils apprennent aussi bien avec et sans fiction mais gardent un souvenir plus agréable de cette expérience avec la fiction.



Figure 1 – Julien Bobroff en train d'expliquer la quantique. Source : *vulgarisation.fr*

Pour Julien Bobroff, même après avoir testé cinquante formats différents d'enseignement ou de vulgarisation, on ne peut pas dire qu'il y en a un meilleur que les autres. Cela va dépendre du public, du contexte, de la qualité du design etc. Cependant l'équipe peut dire qu'ils ont toujours été surpris du résultat. « En particulier, ça n'a jamais été les bonnes recettes qu'on nous préconisait ». Si certains préconisent des formats courts de numériques, l'équipe a observé que les formats longs et tangibles fonctionnent à merveille. Ou privilégier les projets plus manuels, où on manipule du bois et des miroirs, par rapport à des supports de réalité virtuelle et augmentée pour enseigner la physique. Globalement le tangible, c'est-à-dire avoir une vraie expérience et une vraie sensation, semble marcher formidablement bien pour enseigner la physique.

« On a appris à se méfier des bonnes recettes et y compris des bonnes recettes de la vulgarisation. » Il en va de même pour le conseil classique en vulgarisation qui est de trouver et comprendre qui est le public cible afin d'adapter le projet à cela. L'équipe de Julien Bobroff fait exactement l'opposé : « on ne se préoccupe pas du public au début, on invente des projets délirants et après on essaie de trouver le public. Et on se rend compte que ce public n'est jamais celui qu'on avait imaginé au début. »

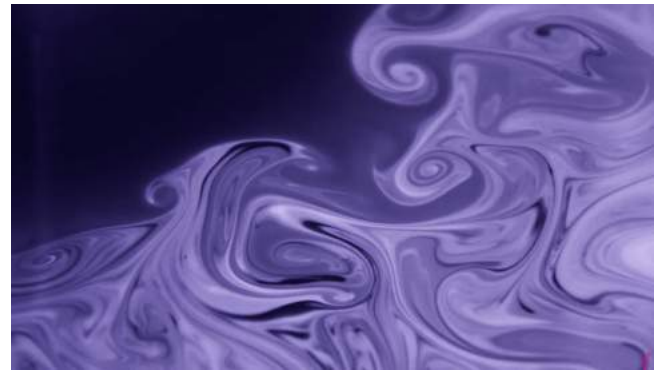


Figure 2 – Marangoni : Des manip d'encre et de savon pour expliquer l'effet Marangoni. Source : *vulgarisation.fr*

Un enseignant-chercheur aux multiples casquettes

Après 20 ans de carrière de recherche en physique, Julien Bobroff travaille toujours au Laboratoire de Physique de Solides à Orsay, fréquente les physiciens et les conférences et reste très imprégné de ce milieu. Ce passé lui a apporté de la légitimité, notamment pour faire des projets fous. Avez-vous déjà vu un designer danser avec des plumes pour expliquer l'intrication quantique par exemple ? Son expertise de chercheur lui permet de réaliser des projets ambitieux avec un fond scientifique très solide.

Ses différentes occupations de chercheur, enseignant, vulgarisateur ne sont pas du tout cloisonnées et se nourrissent les unes les autres. De même pour les activités collectives comme la recherche et les activités individuelles (réseaux sociaux, écriture de livres). Il nous confie d'ailleurs que choisir le poste d'enseignant chercheur plutôt que de recherche pure lui a procuré un bonheur infini. Il est vrai que c'est parfois compliqué de faire deux activités à la fois mais cela permet des allers retours très agréables. Il faut aussi dire que « la recherche, c'est exigeant, c'est dur et c'est souvent décourageant. On la présente de belle façon, mais bosser deux ans sur une expérience et que rien ne sorte, c'est dur psychologiquement. Et puis on est dans une compétition féroce avec différents groupes dans le monde. Donc c'est un métier exaltant, palpitant, mais pas palpitant au quotidien, palpitant sur le long terme. Il faut tenir sur le long terme et c'est un travail aussi de patience et de ténacité. » Dans les moments de bas, c'est alors très agréable d'aller expliquer à des nouveaux étudiants ce qu'est la physique quantique. Et à l'inverse cela fait du bien de retourner à sa manip quand ça ne va plus très bien en enseignement.

Chercheurs-vulgarisateurs ?

Mais à qui revient le rôle de vulgarisateur ? En effet nombre de professionnels, d'excellents youtubeurs ou Tiktokers, de

musées de science, de médiateurs professionnels, de journalistes scientifiques font de la vulgarisation de grande qualité, souvent mieux que les scientifiques eux-mêmes. Est ce que ça a vraiment du sens pour un scientifique et plus généralement pour la communauté scientifique, de faire de la vulgarisation ? Les chercheurs ne devraient-ils pas se contenter de mener leurs recherches bien, de trouver des résultats et de laisser les professionnels s'en emparer et les vulgariser ?

Pour Julien Bobroff la réponse est sans appel : « Dès que les gens commencent à avoir une expertise en physique, c'est important qu'ils fassent de la vulgarisation. Il faut que les chercheurs, les étudiants en thèse et les étudiants en école qui le souhaitent s'y collent. » Une des raisons souvent avancée est celle de l'expertise, un chercheur pourra dire des choses très pertinentes sur son domaine. Cependant les youtubeurs professionnels sont en général excellents et ne font quasiment pas d'erreur.

La vraie raison pour Julien Bobroff, c'est pour parler de physique devant le public. « En leur parlant de physique, je témoigne aussi de qui je suis, je témoigne de la recherche, je témoigne de ce qu'est une chercheuse ou un chercheur. C'est irremplaçable car » aucun vulgarisateur ne pourrait répondre à ces questions sur le métier de chercheur. Et c'est un témoignage crucial, non pas pour recruter plus d'étudiants scientifiques, mais pour donner au grand public « une image juste de ce qu'est la recherche, qu'ils comprennent comment un scientifique ou une scientifique travaille. » Ce manque de compréhension s'est fait ressentir lors de la crise du Covid, où les notions de consensus, de validation des données ou de referee étaient floues pour la population. C'est également le cas à l'aune de la crise climatique. C'est pour cela que le groupe de recherche de Julien Bobroff pose de plus en plus de questions épistémologiques dans leurs projets pour expliquer comment la science se fait.

« Les chercheurs et les chercheuses ont une responsabilité à continuer à aller face au public pour raconter pas seulement ce qu'ils font, mais aussi qui ils sont et comment ils travaillent. »

Expliquer la méthode de travail et de débat en recherche peut même inspirer des méthodes de discussion en société pour prendre des décisions compliquées. « Nous, entre scientifiques on s'écharpe, on n'est jamais d'accord ou on est en compétition féroce. Et pourtant, à la fin, on fait sortir une vérité collective, c'est quelque chose d'assez fort. Il en est de même pour les questions d'ordre de grandeur, des raisonnements un peu à la louche qui permettent de trier entre des décisions et de les arbitrer. »

La place de la science dans les médias

Mais qu'en est-il des médias traditionnels ? Quelle est la place de la science ? Nous pouvons avoir l'impression que les

médias survendent parfois certaines découvertes ponctuelles, probablement par nécessité de faire un article vendeur et accrocheur. Pour Julien Bobroff, le problème est plutôt l'absence complète de science dans ces médias traditionnels. Il n'y a plus beaucoup de vrais services de science dans les grands journaux, ni d'émissions scientifiques régulières sur les chaînes généralistes françaises. Alain Aspect, prix Nobel français 2022, a seulement été mentionné en une phrase avant la météo au journal de TF1 le jour du Prix Nobel. Cela explique aussi que lorsque la science est traitée, elle l'est de manière un peu sensationnaliste.

Quelle attitude les chercheurs doivent-ils alors adopter face aux médias ? Ce n'est pas simple pour un chercheur de comprendre le fonctionnement des médias, de comprendre que le journaliste est auteur de son article et qu'il n'a pas de droit de relecture. « Le rôle que peut avoir le scientifique, c'est d'abord d'être présent et d'accepter de participer aux médias, à sa juste mesure. Mais c'est aussi de faire ce travail de pédagogie sur ce qu'est la science, sur ce qu'est le temps long, etc. Donc ne pas seulement se focaliser sur la dernière découverte que les journalistes vont de toute façon surjouer. Mais parler du statut de fonctionnaire, que les découvertes ne se font pas comme ça, et défendre la recherche fondamentale. »

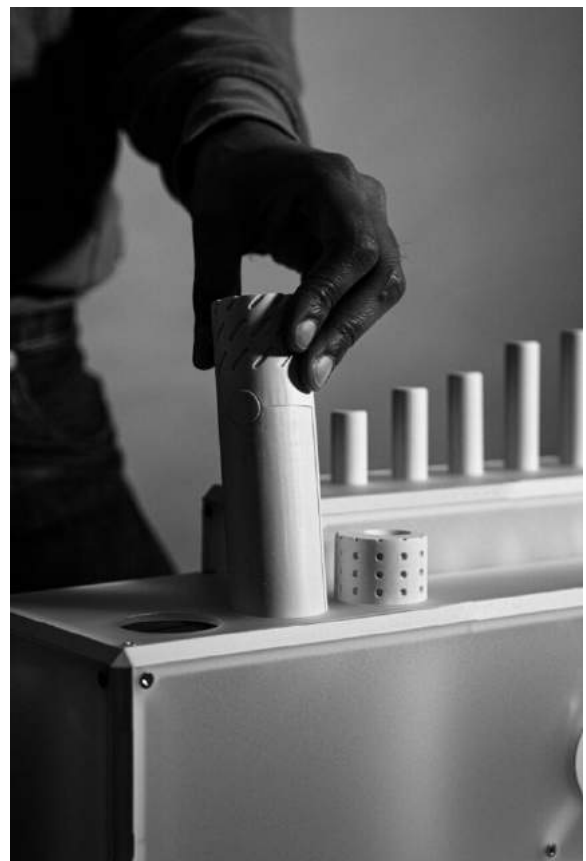


Figure 3 – La Machine obéissante qui rend visible la mesure. Source : vulgarisation.fr

La recherche en didactique

L'équipe La Physique Autrement traduit tous ses projets en anglais et les met à disposition au monde entier. Malgré l'existence d'une forte communauté francophone et européenne de la vulgarisation, ce domaine n'est tout de même pas autant international qu'en recherche en physique. Toutefois pour la recherche en innovation pédagogique et les nouvelles façons d'enseigner la physique, c'est bien pire. Les choses se font souvent à l'échelle d'une université, sous l'impulsion d'un professeur. Mais ça ne se diffuse absolument pas en dehors de l'université. « il y a une schizophrénie incroyable où des enseignants chercheurs vont passer leur temps en recherche à communiquer leurs résultats à l'international, aller dans des conférences, échanger et faire venir des doctorants, et échanger en permanence sur leurs pratiques. Et quand ils deviennent enseignants, ils deviennent complètement isolés dans leur coin et à n'en parler à personne autour, même pas à l'international, même pas au niveau de l'université. » L'année dernière l'équipe de Julien Bobroff a organisé un workshop de deux semaines en faisant venir des physiciens et physiciennes du monde entier pour repenser l'enseignement de la physique et établir un dialogue international sur l'enseignement.

L'enseignement

En effet, cela va probablement surprendre notre lectorat mais en terminale la physique est l'une des matières les plus détestées, juste avant le latin. C'est un constat terrible qui montre bien que la physique est mal enseignée en France. Julien Bobroff et son équipe ont décidé de s'attaquer à un petit bout de ce problème : les TP. Pour eux la façon dont les TP sont enseignés n'a pas de sens : la recherche ce n'est pas suivre un protocole en une demi-journée pour obtenir une courbe qui représente la théorie. Il faut apprendre aux élèves à essayer de fabriquer une expérience, trouver et discuter des résultats. Même à l'agrégation il s'agit de travailler sur des expériences déjà réglées, sans tout le sel de la physique expérimentale.

Julien Bobroff et son collègue Frédéric Bouquet se sont alors inspirés des écoles de design pour tester d'autres alternatives. « On a par exemple pris des étudiants niveau L3 en leur disant on arrête les TP traditionnels, on va faire des TP frugaux avec du matériel minable. Donc on les a équipés de cartes Arduino, du papier alu, du scotch, deux ou trois bouts de ficelle et ils vont inventer une expérience sur plusieurs jours. » Cela modifie aussi le rapport à l'enseignant, qui n'est plus celui qui sait mais celui qui accompagne et essaye de debugger en direct. « Et soudain ça ouvre de nouvelles façons de faire de la physique. Ça révèle aussi des talents chez certains étudiants qui ne vont pas forcément être des pros des équations mais qui soudain savent un peu bidouiller, bricoler, imaginer, fabriquer. » L'équipe développe aussi des projets

autour des smartphones, comme avec l'application Phyphox. Ainsi que des projets où les étudiants sont plongés dans des fictions qui créent d'autres enjeux, du travail d'équipe et de la tension. Les étudiants se détachent des problématiques de la note et de la correction.



Figure 4 – *Projet XYZ, des machines en céramique pour tracer des courbes et comprendre les capteurs du téléphone. Source : vulgarisation.fr.*

« La dernière étape qui nous tient à cœur, c'est d'essaimer ces pratiques. À chaque fois qu'on a un système qui marche, on en fait un outil pour les autres. Par exemple, on fait un site web sur une fiction qui permet à n'importe quel enseignant d'obtenir un scénario clés en main pour faire une fiction pour ses élèves. On a des sites web avec des recettes, avec des outils, des didactiques et des tutoriels pour aider n'importe quel enseignant à s'en emparer. Là encore, les designers nous aident beaucoup pour ces outils de communication. »

Physiciennes

La question de comment promouvoir les études de physique auprès des filles préoccupe beaucoup l'équipe LPA mais ils n'ont aucune solution à comment traiter ces sujets. « On a un problème de base qui est que les deux physiciens dans l'équipe sont deux hommes blancs de 50 ans. Ils ne sont donc pas forcément légitimes à porter la parole de l'inclusion. » Des projets se sont fait avec des étudiant.e.s en thèse qui ont parlé dans les lycées mais c'est difficile d'en mesurer l'impact.

Dans les projets de vulgarisation se pose aussi la question de quel projet est pertinent pour amener ce sujet sans que ça soit trop lourd. « Et on n'a pas trouvé. En général, la plupart des approches que j'ai pu voir, sont des approches historiques. Où on retombe sur les trois ou quatre mêmes physiciennes des années 1950-60 qui méritaient le prix Nobel mais ne l'ont pas eu. Mais ce n'est pas forcément très parlant. »

À son échelle, Julien Bobroff a interviewé un certain nombre de chercheurs et de chercheuses dans son dernier livre *Bienvenue dans la nouvelle Révolution Quantique* (Flammarion, 2022). Dans son livre on retrouve presque une parité alors qu'il y

a 10-15% de femmes dans ce domaine. « Je me suis forcé à essayer de trouver beaucoup de femmes représentantes de la dynamique qui existe actuellement dans le monde quantique et de les citer le plus possible dans les expériences sans que ça soit artificiel. C'est à chaque fois des expériences de grande qualité, mais j'ai probablement poussé pour arriver à quelque chose d'un peu déséquilibré par rapport à ce que sont vraiment les labos de physique pour essayer de faire sentir que plein de femmes font des choses formidables en recherche actuellement. »

Les chiffres sont en particulier alarmants sur les réseaux sociaux : Sur les 500 000 abonnés de Julien Bobroff sur Instagram, TikTok et Facebook, 84% sont des hommes. Viviane Lalande, vulgarisatrice qui anime la chaîne Scilabus, a exactement les mêmes chiffres. Pour Julien Bobroff c'est une catastrophe. « J'ai un public hyper masculin, je suis moi-même un homme. Et donc, pour ne pas être lourd et amener ça avec finesse, je ne trouve pas. On a beaucoup réfléchi avec les designers dans l'équipe et ils sont très préoccupés par ça. À mon avis, la meilleure façon de faire, c'est quand même la preuve par l'exemple, c'est-à-dire avoir des femmes scientifiques brillantes et qui vont faire de la vulgarisation pour montrer leur exemple. Mais on ne peut pas demander à ces femmes-là de participer à tous les comités, à toutes les conférences. Elles veulent aussi pouvoir faire leur recherche tranquillement. »

Différents types de vulgarisation

« Je consomme énormément de vulgarisation parce que d'un point de vue professionnel, je veux savoir ce que font les autres, comment ils le font. J'aime beaucoup YouTube et les bouquins de vulgarisation parce que je suis quand même un vieux. Donc à la fois le livre de 300 pages, les conférences de séminaire sur Youtube et les youtubeurs. Veritasium est quand même pour moi un peu au-dessus des autres. Et CGP Grey. Quand une vidéo m'apprend quelque chose auquel je ne pensais même pas, je suis émerveillé. Maintenant, je commence à consommer pas mal de Tik Tok et d'Instagram, mais c'est quand même pas terrible. »

Le mot de la fin : Un conseil pour un.e étudiant.e en physique ?

« Quand vous allez rencontrer des gens avec qui vous aimeriez travailler, par exemple, si vous essayez de choisir un stage ou une thèse ou plus tard un métier dans le monde de la physique, ne vous intéressez pas qu'au niveau de l'équipe et au sujet. Le défaut habituel des gens qui disent "Moi, je veux travailler sur les trous noirs et je vais prendre l'expert des trous noirs et je vais bosser avec cette personne et ça va être formidable." Évidemment, c'est important, mais intéressez vous à l'humain parce que vous allez passer du temps avec ces gens-là. Et posez la question à ces personnes : "C'est quoi votre journée typique?". Vous allez vous rendre compte que les domaines de la physique sont hyper différents les uns des autres par la journée qu'on y passe. Travailler en matière molle n'a rien à voir avec travailler aux basses températures qui lui même n'aura rien à voir avec travailler au CERN sur la physique des particules. Et donc moi j'aime bien poser la question quand je ne me rends pas compte de ce que c'est un métier.

Et aussi quand vous allez visiter des laboratoires pour voir où vous pourriez travailler, ne discutez pas qu'avec le patron ou la patronne. Demandez à discuter avec les jeunes et sans le boss. Allez prendre un café avec l'étudiante ou l'étudiant qui est là en stage ou le thésard ou la thésarde qui traînent là et demandez leur comment ça se passe au quotidien. Pour moi, ce plaisir d'aller au travail le lundi matin est aussi important que le choix du sujet en physique sur lequel de toute façon, on a de fausses idées et sur lequel de toute façon on se plante.

Liens pour suivre Julien Bobroff et LPA

Site web : vulgarisation.fr

Youtube : [La Physique Autrement](https://www.youtube.com/channel/UC1v31111111111111111111)

Deux projet à aller voir :

Une forêt des arbres, un physicien. C'est quoi un physicien quand on met dans une forêt ?

Smartphone Physics Challenge. Quelles sont toutes les façons de mesurer la hauteur d'un bâtiment avec un smartphone ? Ils en ont trouvé et testé 61 !

Merci Julien Bobroff !

– Oriane Devigne et Lukas Péron

Normale Concours Review

Tout frais sortis de prépas, nos conscrits vous proposent un court résumé du sujet de concours qu'ils ont préféré – que ce soit comme introduction à un domaine de la physique qui vous est inconnu ou pour en tirer moult exercices de colle démoniaques, ils vous conseillent donc de jeter un œil au physique B du concours PC!

Le sujet traite d'une détermination de la constante de structure fine. Celle-ci est décrite par une citation de Feynman dans l'introduction comme : "Un nombre magique qui nous parvient sans que l'homme puisse le comprendre." Elle est notée α , et définie par :

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}$$

où e est la charge de l'électron, ϵ_0 , \hbar et c les constantes physiques usuelles.

On la mesure ici à travers la constante de Rydberg, R_∞ , définie empiriquement par les longueurs d'onde des raies d'émission de l'hydrogène :

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

On utilise la formule

$$\alpha = \sqrt{\frac{2R_\infty h}{cm_e}}$$

Celle-ci se démontre à partir du modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène. Il est cependant plus aisé de mesurer la masse du Rubidium, puis le rapport entre celle de l'électron et du Rubidium. On obtient alors :

$$\alpha = \sqrt{\frac{2R_\infty}{c} \frac{m}{m_e} \frac{h}{m}}$$

On mesure la masse du Rubidium par interférométrie atomique. Dans le cadre du sujet, on considère deux états possibles de cet atome, numérotés 1 et 2, de quantités de mouvement respectives $m\vec{v}_0$, et $m(\vec{v}_0 + 2\vec{v}_r)$. \vec{v}_r est la vitesse de

recul liée à l'émission de photons, abordée précédemment dans le sujet.

Initialement, les atomes sont tous dans l'état 1. Des impulsions laser permettent de placer les atomes dans une superposition des deux états, ("impulsions $\pi/2$ ") ou de faire changer d'état tous les atomes ("impulsions π "). Si on représente l'état des atomes par un vecteur du plan, les noms "impulsions $\pi/2$ " ou " π " sont trompeurs. Il y a, dans la matrice de rotation correspondant à l'impulsion, un facteur 1/2, il faut donc se représenter les rotations avec ce même facteur pour visualiser correctement ce processus.

Les impulsions $\pi/2$ agissent comme des séparatrices optiques, et les impulsions π des miroirs. On reconnaît donc un analogue à l'interféromètre de Michelson, nommé interféromètre de Ramsey-Bordé.

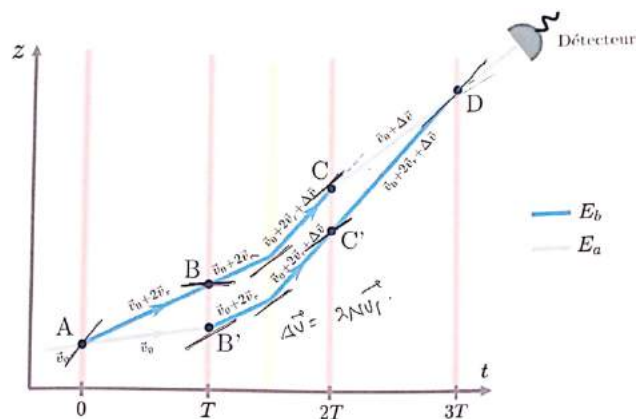


Figure 5 – Schéma explicatif de l'interféromètre

On peut ensuite relier le déphasage détecté à la masse de l'atome de Rubidium par des calculs qui occuperont le candidat pour le reste de la première partie. La seconde traite du front d'onde des lasers, et est plus calculatoire que la première, nous ne l'aborderons donc pas.

– Thomas Ben Moussa et Kenan Scavennec

ALORS ON DENS

Dans cette nouvelle rubrique, nous vous invitons à nous envoyer vos expériences transdisciplinaires à l'ENS au long de votre scolarité de physicien.ne, que ce soit en sciences dures ou en sciences humaines. Il n'est pas rare de trouver des ponts entre certains enseignements qui viennent nourrir encore davantage nos projets de recherche.

— Séminaire CERES Changement climatique : sciences,

sociétés, politique [a priori au 45] : Séminaire transdisciplinaire faisant intervenir les disciplines scientifiques impliquées dans l'étude des conséquences et de l'adaptation au changement climatique, idéal pour rencontrer les chercheurs et les élèves qui pourraient partager vos pistes de réflexions sur le sujet. Le séminaire reprend le vendredi 13 octobre avec une programmation diffusée par mail. Lien vers la page du séminaire sur le site du département CERES.

— Économie pour scientifiques [au 45] : Ce cours annuel

est une introduction en deux semestres aux sciences économiques pour un public scientifique. Vous passerez en revue les formalismes mathématiques principaux et la littérature de référence. Ce cours est idéal pour préparer un projet plus approfondi en économie. Lien de la page du cours sur le site du département d'économie.

- **PSL Week** : du 27 novembre au 1er décembre 2023, les étudiants de l'Université PSL sont invités à suivre un cours dans l'un des établissements partenaires. C'est l'occasion de découvrir une nouvelle discipline avec un cours introductif qui comptera dans la validation de votre scolarité. Les inscriptions sont ouvertes du 2 octobre au 8 octobre 2023 à minuit. Lien vers le site des inscriptions. Notez que les inscriptions sont sur le

mode "premier arrivé, premier servi".

- **Cours Introductif à l'économie de l'environnement** : deux normaliens en scolarité du département d'économie vous proposent un cours introductif à l'économie de l'environnement le mercredi de 18h à 20h en Galois. Cette discipline est propice à la réflexion de politiques publiques environnementales et avec un recul historique très complet sur les penseurs de la discipline. Le cours est enrichi cette année avec le soutien de doctorants. Lien vers la page du cours, inscription auprès des encadrants.

Contact pour partager un cours à la rubrique : guillaume.de.rochefort@ens.psl.eu

CALENDRIER

- Mardi 3 octobre 2023 : Cérémonie d'ouverture de l'année de la physique lancée par le CNRS pour encourager les chercheurs à partager leur passion pour la discipline. Lien vers le site officiel.
- 6 au 16 octobre 2023 : Fête de la science, les établissements scientifiques ouvrent leurs portes et proposent des expositions, des visites de laboratoires ou encore des animations pour faire découvrir les métiers scientifiques. C'est l'occasion rêvée pour faire découvrir à vos

proches ou à vos amis l'objet de votre passion! Retrouvez l'animation la plus proche d'informations sur le site officiel.

- Prix Nobels de physique, chimie, biologie respectivement le 3, 4 et 5 octobre : découvrez cette semaine les lauréats du prestigieux prix suédois, plus particulièrement les nouveaux lauréats du prix Nobel de physique.

Contact pour partager des dates à ne pas manquer en physique pour 2023-2024 : guillaume.de.rochefort@ens.psl.eu

SIR, I HAVE A QUESTION

New problems

Back to school, back to physics questions – here are your monthly ten.

- I** : In Marvel comics, Thor can produce lightning by swinging his hammer Mjölnir very fast. In reality, how fast would the metallic hammer need to rotate to summon an electric arc?
- II** : Sometimes, people are seen defying the wind and struggling to walk against it. How fast should the wind blow to prevent someone from walking against its direction? What strategy would be best to walk in strong wind?
- III** : What is the curve that minimizes the time taken to go from (x_1, v_1) to (x_2, v_2) given a maximal possible acceleration?
- IV** : What's most likely : to come into your *thurne* and find all air molecules in one side of the room or to have a tennis ball go through a wall when thrown at it?

V : Is your phone's compass less precise when you stand next to an antenna?

VI : If the Little Prince starts running as fast as he can on his small planet, will its orbit change?

VII : If the Earth was cooled down enough while keeping its atmosphere, would it be possible for a ray of light to loop back on itself around the planet?

VIII : Can you devise a kitchen experiment to showcase the Roche limit? Granted you are allowed to use a different force than gravity...

IX : If the contents of one's belly were mostly fluid, what would the actual shape of a beer belly be? Numerical simulations are welcome.

X : Suppose you are in a very large crowd standing in a huge, flat field and you scream "count yourselves!": someone starts by shouting "one", another one follows on with a loud "two", and so on. How will the position of the n -th person shouting evolve with n ? Is this a good strategy to count a group? Does it help if people move randomly in addition to answering when they deem it is their turn?

MYSTERY PHOTO

Solution of N_{27}

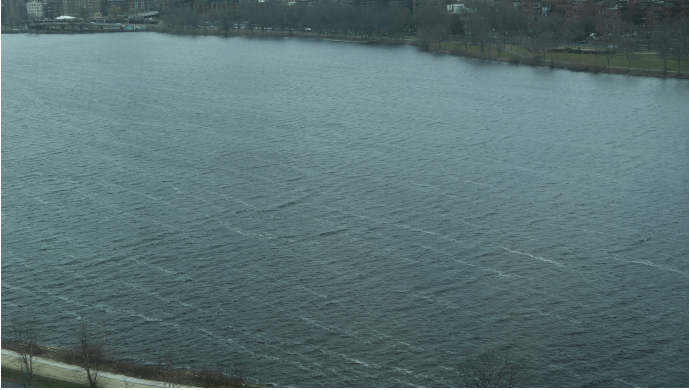


Figure 6 – Photo of N_{27}

We think this may be an example of Langmuir circulation : wind along the surface of the river creates an array of counter-rotating vortex lines that push dust or other particles between these vortices, thus creating these white lines.

– Victor Lequin

Photo of N_{28}

Don't these gorgeous pictures look like some Van Gogh painting? Sure, but what are they, really?

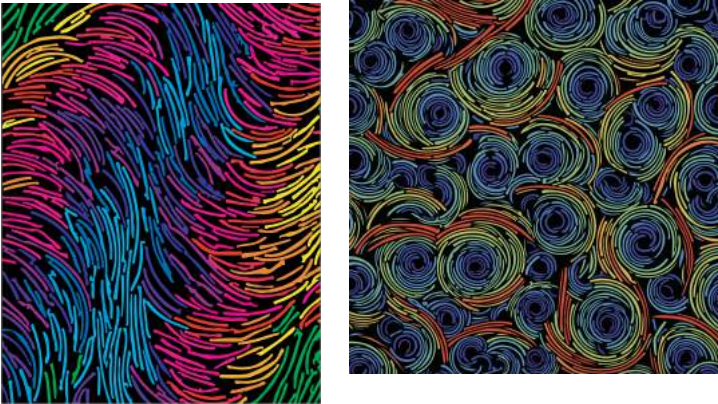


Figure 7 – Mystery photo of N_{28}

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank all the contributors to this edition. But as always, the most precious thanks are for you, our dear reader!

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

- **Aymane Legssyer** φ_{22} :
aymane.legssyer@ens.psl.eu
- **Lukas Péron** φ_{22} :
lukas.peron@ens.psl.eu
- **Juliette Savoye** φ_{21} :
juliette.savoye@ens.psl.eu
- **Victor Lequin** φ_{21} :
victor.lequin@ens.psl.eu
- **Oriane Devigne** φ_{21} :
oriane.devigne@ens.psl.eu
- **Esteban Foucher** φ_{20} :
esteban.foucher@ens.psl.eu
- **Guillaume de Rochefort** φ_{19} :
guillaume.de.rochefort@ens.psl.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!