



Normale  
Physics Review

INIPR

École normale  
supérieure

— Fights Bohr-dom —

### Édito $N_{17}$ : la Npr à l'interface entre les humains et la physique

*Si les humains étudient la physique, la physique étudie aussi les humains. C'est par exemple le cas de la physique des foules, domaine de la matière active dont le terrain de jeu se situe à l'interface entre physique statistique et hydrodynamique, et dont le chercheur Nicolas Bain nous parle dans une interview.*

*Mais la physique est aussi l'occasion d'une transmission, de savoirs et de passion : la vulgarisation est un vaste paysage, dont les chemins passent par tous les médias. Magazines, revues, blogs, émissions, Youtube sous toutes ses formes... Jean-Michel Courty s'est essayé à plus d'un de ces supports, et nous fait part de son point de vue particulier de chercheur-vulgarisateur lors d'un grand entretien avec la Npr.*

*Et la transmission, elle est maintenant dans ce numéro, dont nous espérons que vous aurez plaisir à le découvrir – bonne lecture !*

– Victor Lequin pour l'équipe de rédaction

## SOMMAIRE

<b>Class life</b>	<b>2</b>
Voyage au ski . . . . .	2
<b>Physicist's life</b>	<b>2</b>
Interview de Nicolas Bain : un aperçu de la physique des foules . . . . .	2
Interview de Jean-Michel Courty : la double vie d'un chercheur-vulgarisateur . . . . .	6
<b>Sir, I have a question</b>	<b>11</b>
New problems . . . . .	11
Answers to previous questions . . . . .	11
<b>Mystery photo</b>	<b>12</b>
Solution of $N_{16}$ . . . . .	12
Photo of $N_{17}$ . . . . .	12
<b>Acknowledgements</b>	<b>12</b>

## CLASS LIFE

## Voyage au ski

Rien de tel que le bon air de la montagne pour se recueillir et penser physique! La feuille, le tableau ou l'écran d'ordinateur disparaissent au profit d'un paysage naturel grandiose.

En se prélassant sur un télésiège ou en bronzant allongé sur la neige, tous les moments sont propices à la discussion avec soi-même ou des amis sur des questions fondamentales ou très appliquées - par exemple chercher des réponses aux questions de notre cher journal.

Après la session d'examens du premier semestre, la communauté des physiciens a pu partir avec les collègues des autres départements à St. Sorlin d'Arves dans les Alpes du 29 janvier au 5 février.

Cela a été l'occasion de marquer une pause dans l'année et de se changer les idées avant de reprendre les cours pour les L3 ou de partir en stage pour les M1.



Figure 1 – Le ski pour les physiciens et les autres!

– Esteban Foucher

## PHYSICIST'S LIFE

## Interview de Nicolas Bain : un aperçu de la physique des foules

Ce mois-ci, la NPR vous propose une interview passionnante avec le chercheur Nicolas Bain pour discuter de sa thèse sur la physique des foules.

Nicolas Bain est un chercheur qui s'est orienté, après une école d'ingénieur, vers une thèse au MIT. Ce premier contact avec la recherche l'a convaincu et après un doctorat à l'ENS Lyon sur l'hydrodynamique des foules polarisées, il est à présent post-doctorant à l'ETH Zürich.

**NPR :** *Tu as commencé par faire une école d'ingénieur. Qu'est-ce qui t'a poussé à faire une thèse ?*

**Nicolas Bain :** C'est assez marrant parce qu'au début, j'étais à peu près sûr d'une chose : je ne voulais pas faire de recherche. C'était une de mes convictions. Ce qui s'est passé, c'est qu'on nous demandait dans le cursus de faire un master en dehors de Polytechnique, et pour ça j'avais envie d'aller aux États-Unis. Sauf qu'aux États-Unis c'est cher ; en revanche, ils ont un programme appelé "Master of Science" où tu peux être complètement financé si tu es assistant de recherche. Cela correspond aux deux premières années de thèse d'un programme de doctorat aux États-Unis. J'ai décidé de faire ça parce que ça me permettait d'une part de partir deux ans aux États-Unis sans payer 50 000 dollars par an, et d'autre part c'était l'occasion de voir le monde de la recherche. Comme ça, si je n'y allais pas, ce serait en connaissance de cause. J'ai donc fait ça, et il se trouve que ça m'a plu. Notamment parce que j'ai eu beaucoup de chance, j'étais dans un groupe qui était en collaboration avec une UMI (Unité Mixte Internationale), c'est-à-dire un détachement du CNRS qui était lié au MIT, l'université où je travaillais. J'ai pu alors rencontrer plusieurs chercheurs français, travaillant dans des labos en France. Il y avait notamment Lydéric Bocquet, Marie-Laure Bocquet, Benoît Coasne, Thorsten Emig. En discutant avec eux et en travaillant un peu avec eux, cela m'a donné une vision de la recherche que je n'avais pas avant. C'est un peu eux qui m'ont donné envie de continuer sur une thèse.

**NPR :** *Comment as-tu trouvé ton sujet de thèse ?*

**N. B. :** Ma formation n'était pas en physique mais en mécanique : mécanique des milieux continus, tenseur des efforts, etc. Mon projet de recherche aux US s'est un peu éloigné de ça et j'ai découvert la physique statistique. Voilà l'idée : quand une voiture roule sur la route, elle dissipe l'énergie de plusieurs façons. On lui fournit l'énergie avec l'essence et après, de l'énergie est dissipée : il y a des frottements avec l'air, mais si la voiture ne va pas très vite, il y a aussi des dissipations à cause des déformations de la route. Si c'est du goudron typiquement, c'est un milieu viscoélastique donc quand on roule dessus, on le déforme de façon dynamique, ce qui dissipe de l'énergie. Ils travaillaient là-dessus dans mon groupe, et ils avaient un modèle pour savoir comment un seul véhicule dissipe de l'énergie, en fonction de sa vitesse, de sa masse, etc. On a voulu aller un cran plus loin en se disant que les conditions de trafic ne sont jamais linéaires. L'idée était donc d'obtenir une estimation des distributions de vitesses en fonction du trafic routier, pour essayer d'avoir une idée plus précise de la dissipation d'énergie liée à la route. Typiquement, est-ce qu'il y a plus de dissipation quand il y a des bouchons ou quand le trafic est fluide ?

J'ai donc joué avec des modèles de physique statistique et des modélisations du trafic routier : c'était un peu ma porte d'entrée dans la physique statistique. Et cela m'a ouvert la porte à tout le domaine de la matière active, dont les véhicules routiers sont en fait une sous-partie. C'est le domaine des milieux hors équilibre souvent et des particules auto-propulsées à l'intérieur. Ce que j'ai fait pour trouver mon sujet de thèse, c'est donc de parler à des gens (et notamment à Lydéric), en leur expliquant que j'étais très intéressé par le domaine de la matière active et que j'aimerais faire ma thèse là-dedans. Je n'avais pas une vision très large de ce qu'il se passait, donc il m'a donné des contacts. J'ai contacté quatre ou cinq personnes, et chacun en fait avait déjà un peu ses idées de sujets de thèse. Il y avait Guy Theraulaz à Toulouse, qui est un éthologue et qui avait des idées de continuations de projets sur les foules ou sur d'autres animaux. Il y avait Knut Drescher en Allemagne qui voulait voir la croissance des tissus de bactérie, Éric Bertin à Grenoble qui faisait de la théorie sur les particules propulsées.

Et il y avait Denis Bartolo qui m'a proposé de faire des expériences sur les foules humaines. Et j'avoue que son sujet m'a pas mal séduit, et pour moi c'était assez simple (et logique) parce que je venais de travailler sur les voitures, qui est un cas 1D, et pour les foules il fallait juste passer en 2D. Donc ce que j'ai fait c'est que je n'ai pas vraiment choisi mon sujet, j'ai plutôt choisi mon directeur de thèse, et après il m'a proposé un sujet qui m'a plu. On pense souvent au sujet de thèse en priorité mais je pense que le choix de l'encadrant et de la compatibilité avec l'encadrant a une place au moins aussi importante que le sujet lui-même. Dans l'ordre du choix, je recommanderais presque de choisir d'abord l'encadrant ou l'encadrante, et après de voir quels sont les sujets possibles.

**NPR :** *Comment rester motivé sur les trois ans de thèse si on n'a pas vraiment choisi le sujet ?*

**N. B. :** Il faut quand même que ça t'intéresse un minimum. Je pense que c'est normal d'être démotivé au bout d'un moment. Évidemment, je ne peux parler que pour moi ou des personnes dont je suis proche. Personnellement, j'ai eu deux sujets de thèse un peu différents. Il y a des moments plus durs que d'autres mais c'est une bonne formation à la recherche de façon générale. Il y a toujours le début où c'est sympa parce qu'on construit tout, on débogue, parfois c'est un peu frustrant mais ça commence à marcher. Et après il y a le moment où on passe d'un travail qui commence à marcher, à un travail qui est pénible mais important de reproductibilité. Être sûr que tout est bon dans les détails, qu'il n'y ait pas d'erreur, etc. En fait, c'est la plupart du travail. Dans tous les projets que j'ai eu, je n'y ai jamais coupé : j'ai toujours dû retravailler encore et encore les données pour être sûr que ça donne quelque chose qui soit robuste. Je ne veux pas

vraiment donner des conseils de vie, mais je pense que pour rester motivé, il faut déjà y croire un minimum, se dire que ça va marcher, il faut être patient - parce que c'est long - et garder en tête que c'est normal, que ça fait partie du processus. Une fois que c'est fini, on est content de l'avoir fait. Un autre truc qui aide beaucoup, et ça revient à ce que je disais, c'est la personne qui encadre. C'est normal en tant que doctorant de perdre la motivation, parce que t'as le nez dans le guidon, tu fais des trucs au jour le jour et tu te perds un peu. Avoir quelqu'un qui reste derrière et qui te rappelle quelle est la grande direction à suivre, et pourquoi on fait ça, ça aide beaucoup. Donc finalement, ça revient au choix de l'encadrant.

**NPR :** *Dans cette thèse, tu utilises l'hydrodynamique pour modéliser un départ de marathon. Comment fait-on pour modéliser une foule avec de l'hydrodynamique ?*

**N. B. :** Déjà, il faut se demander ce qu'est un modèle hydrodynamique. Un modèle hydrodynamique, c'est un modèle des milieux continus où on ne regarde que ce qu'il se passe aux plus grandes échelles spatiales et temporelles. On néglige les phénomènes aux petites échelles et on regarde les grandes échelles. Donc à priori, tout n'est pas modélisable avec un modèle hydrodynamique. Il faut un nombre suffisamment grand de particules en mécanique des fluides, ou de personnes pour les foules. Donc à priori il faut des grandes foules. L'approche qu'on a eue, c'était donc de se dire qu'on allait modéliser les foules en testant les modèles de l'hydrodynamique. La raison pour laquelle on voulait faire ces modèles, c'est justement parce que la plupart des travaux de recherche sur ce sujet, en tout cas ceux avec des données expérimentales, regardaient les comportements individuels. Par exemple, si je marche à côté de mon directeur de thèse, on va vouloir être côte à côte, et avoir la même vitesse. En revanche, si on se rencontre dans le couloir, on ne va pas vouloir se rentrer dedans, on va s'éviter. Les autres travaux essayaient de déterminer quelles étaient les forces sociales entre les personnes si on les modélise comme des particules. Nous, le point de vue qu'on s'est donné, c'était de considérer que c'était trop compliqué pour nous. Parce qu'en prenant deux personnes, on a certaines forces, en en prenant trois, ça sera d'autres forces, etc. Donc plus il y a d'agents, plus il y a de paramètres et le nombre de paramètres explose.

On a donc voulu prendre le cas complètement opposé, en prenant plein de personnes et en supposant - comme ça se passe en mécanique des fluides - que le détail des interactions ne va pas avoir une grosse importance. L'hypothèse était donc : si on prend suffisamment de gens, est-ce qu'on peut s'affranchir complètement du détail des interactions et ne travailler qu'avec de la physique ? Donc comment fait-on cela ? Quand j'ai fait ma thèse, il y avait zéro système comme

cela : il y avait des modèles évidemment, mais aucun modèle qui était dérivé d'observations expérimentales. Donc on s'est dit qu'on allait juste prendre le cas le plus simple. On avait un cahier des charges : il fallait une grande foule, une géométrie simple, avec des petites perturbations (pour avoir quelque chose qu'on puisse interpréter), quelque chose de répétable - et on l'espérait reproductible. C'est pour ça que les zones de départ des marathons, c'était un peu un système idéal : finalement, c'est un événement qui se répète tous les ans, au même endroit. Pour le marathon de Chicago, c'est un événement qui se répète tous les ans, même jour (même dimanche), même endroit, même heure. On avait 40 000 personnes qui marchaient dans la même direction : en fait, c'était un écoulement de Poiseuille - mais pour des gens.

On est donc parti de ces données expérimentales, et pour savoir quel modèle hydrodynamique il fallait, on est parti des arguments les plus simples qu'on avait : c'étaient des lois de conservation. On a des lois de conservation physique, typiquement la conservation de la masse à partir du moment où les gens n'apparaissent pas ou ne disparaissent pas spontanément dans la foule. Après, on a cherché à savoir si on avait une conservation de la quantité de mouvement, longitudinale et orientationnelle. Donc juste avec des arguments de conservation de la masse, qui sont les mêmes arguments utilisés pour dériver les équations de Navier-Stokes, mais aussi en ajoutant des arguments de symétrie (le fait que la foule allait dans une seule direction) ainsi que le fait que la quantité de mouvement n'est pas conservée (parce que la foule peut se mettre toute seule en mouvement et s'arrêter toute seule sans force extérieure), on a pu simplifier les lois de conservation pour avoir un petit nombre de termes. Et cela nous redonnait les observations expérimentales. De façon générale, maintenant qu'on sait que ça marche en système simple, on pourrait le faire sur d'autres systèmes (pas trop compliqués non plus). L'idée est de prendre des mesures expérimentales, pour voir comment un grand nombre de gens se comporte à grande échelle : souvent, ce sont des fluctuations de champs de densité, champs d'orientations et champs de vitesses. On regarde la dynamique de ces champs-là et ensuite on part de lois de conservation, et avec les arguments de symétrie du système expérimental considéré, on peut voir quelles sont les équations hydrodynamiques qui sont importantes.

Pour faire un petit aparté, c'est quelque chose que j'ai fait pour les foules mais dans mon groupe de thèse avec Denis Bartolo, c'est aussi quelque chose qu'ils ont fait pour des systèmes de rouleurs colloïdaux. Ce sont des colloïdes, donc des petites billes qui font à peu près 1  $\mu\text{m}$  de diamètre, qu'ils sédimentent avant de mettre un champ électrique orthogonal au dispositif microfluidique. Ces colloïdes se mettent à tourner. Pour une seule bille, elle roule dans des directions aléatoires, et rien ne prescrit la direction dans laquelle elle tourne. Mais pour pleins de billes, elles ont en fait des attractions d'alignement, et elles se mettent spontanément à toutes

aller dans la même direction. C'est donc un système qui est assez différent des foules, mais on part des mêmes lois de conservation. Et avec d'autres hypothèses simplificatrices, et d'autres arguments de symétrie, on arrive à un autre jeu de lois hydrodynamiques. Mais la base est la même, et avec ça, ils ont pu retrouver la propagation des fluctuations d'orientation dans ces systèmes.

**NPR :** *Est-ce qu'on pourrait définir une viscosité pour une foule ?*

**N. B. :** La viscosité, on y pense d'abord en termes de mécanique des fluides. Pour un fluide newtonien, il y a conservation de la masse et de la quantité de mouvement. Donc les deux propriétés du matériau qui suffisent à décrire les propriétés de l'écoulement d'un fluide, c'est la densité et la viscosité. Quand on a fait le modèle des foules, dans notre modèle hydrodynamique à grande échelle, finalement, on n'a pas eu de terme de viscosité. Les termes qui importaient, c'étaient la densité, le taux de relaxation des fluctuations de vitesses vers les fluctuations de densité, et le terme de pression des gens. Les constantes du matériau, pour un fluide newtonien, c'est densité et viscosité. Pour un autre matériau, par exemple un solide, ça va être module d'Young et coefficient de Poisson. Et pour une foule, ça dépend fortement des hypothèses simplificatrices qu'on va faire, des principes de symétries et du type de foule qu'on a. Dans notre cas, on n'avait pas spécifiquement de viscosité, mais il peut y avoir des cas où il y en a une. Il faut alors dériver les équations et voir à quoi correspond le terme visqueux : par exemple, si on fait des relations de dispersion comme dans les propagations d'ondes, il faut voir à quoi cela correspond dans les relations de dispersion, etc.

**NPR :** *Est-ce qu'on peut observer des équivalents de vortex pour les foules ?*

**N. B. :** Cela a été fait. C'est un exemple qui me semble un peu spécifique, mais il y a Jesse Silverberg qui avait regardé les concerts de métal, où il y a ce qu'on appelle des mosh-pits. Il y a des gens qui se mettent à tourner en rond et à se courir après au milieu de la foule. Donc ça ressemble à des vortex, ça arrive. Après ça dépend du type de vorticités, mais finalement, pendant le pèlerinage de La Mecque, il y a l'événement où tous les pèlerins tournent autour de l'énorme édifice : donc à grande échelle, il y a un vortex.

Il y a aussi des collègues à Lyon, par exemple Alexandre Nicolas qui s'est demandé ce qu'il se passe si on prend un objet intrusif qui se propage dans la foule. Il a fait avancer quelqu'un qui avait une sorte de cylindre autour de lui et il a regardé comment les gens se déplaçaient autour. Intuitivement, dans un fluide dans ce cas, on aura des petits vortex sur les côtés de l'objet qui se propage. Eux c'était à petite vitesse

et ça restait très local, mais on pourrait regarder s'il y a un champ de vorticité autour de la propagation de l'obstacle.

**NPR :** *Le modèle hydrodynamique est adapté à grande échelle, pour des plus petites foules on utilise plutôt les interactions individuelles. Est-ce qu'il y a des transitions de phase pour une foule, typiquement différents "régimes" selon la densité ?*

**N. B. :** Il y a un peu deux questions : d'abord la question de savoir si les modèles hydrodynamiques sont toujours possibles et valides quand on change la densité, puis la question de la transition de phase. Le plus proche que je connaisse, de façon expérimentale, c'est les travaux de Dirk Helbing, encore sur le pèlerinage de La Mecque. Il a eu accès à des images d'une année où il y a eu des accidents dramatiques. Il a appelé ça la turbulence de foule. Il y a tous ces pèlerins qui se déplacent et les accidents ont quasiment toujours lieu au même endroit, sur le pont Djamarat. Ils ont donc eu accès à des images de cet endroit-là, avec ce pont qui est quand même énorme, et ils ont remarqué que la foule se densifie avec le temps qui passe. Tout le monde veut passer ce pont, qui n'est pas assez large : il y a un flux qui arrive et un flux qui sort, mais si le flux entrant est plus grand que le flux sortant, ça se densifie. Avec cette densité qui augmente, ils ont observé des phénoménologies qui changeaient.

Au début, la foule était à peu près statique. Après, il y avait des ondes qui se propageaient (vers l'arrière il me semble). Et à la fin, quand c'était vraiment extrêmement dense, il y avait cette turbulence de foule : des mouvements à grande échelle, dans lesquels les gens ne touchaient pas le sol. Là, on pourrait penser ça comme une transition de phase. En augmentant la densité de la foule, on passe de quelque chose qui est statique ou laminaire à quelque chose de turbulent. Mais cela reste des observations qui sont très qualitatives. Pour une transition de phase, en tant que physicien, on a tendance à être assez quantitatifs : en utilisant un paramètre d'ordre et à regarder comment il varie, par exemple en changeant la densité. Cela permet de voir si c'est une transition de phase du premier ordre, du second ordre, est-ce que c'est un cross-over ou est-ce que c'est vraiment deux phases différentes, etc. Cela, à ma connaissance, ça n'a pas été fait. Mais, qualitativement, il y a bien des observations qui montrent qu'en changeant la densité, on a des phénoménologies distinctes. On pourrait les quantifier par un paramètre d'ordre, comme la vorticité par exemple.

**NPR :** *Sur quoi est-ce que tu travailles en ce moment ?*

**N. B. :** J'ai complètement changé de domaine. Déjà, je fais des expériences en laboratoire. Ce n'est plus prendre une caméra et se mettre dans une chambre d'hôtel pour observer une foule. Maintenant, je fais des expériences plus classiques.

En fait, je m'intéresse aux phénomènes d'élasto-capillarité. Ce sont des phénomènes souvent restreints aux solides mous (avec une rigidité très faible, de l'ordre du kPa), où le comportement mécanique est un couplage entre l'élasticité classique (module d'Young) et la tension de surface. Ce couplage entre les deux donne lieu à des phénomènes intéressants. Moi, la question plus spécifique qui m'intéresse, c'est : est-ce que la tension de surface de ces solides est une propriété du matériau ou est-ce qu'elle peut varier en étirant le solide ? La raison pour laquelle ces propriétés m'intéressent est assez fondamentale. En fait, les solides mous avec lesquels je travaille sont des gels, avec une chimie relativement complexe (c'est un réseau polymérique dans lequel il y a un solvant). Et à priori, ce n'est pas évident de savoir ce qui contrôle la tension de surface de ces matériaux. Si dans un matériau la tension de surface change selon l'étirement, cela nous dit qu'elle est contrôlée au moins en partie par le réseau élastique. Si elle était contrôlée seulement par le solvant, ce serait comme pour de l'huile, de l'alcool ou de l'eau : ce serait une propriété du matériau (   température fixée). Là, je suis en train de développer des méthodes pour mesurer si oui ou non, les gels (notamment de silicone) ont une tension de surface qui change avec le taux d'étirement. Et j'ai envie de m'en servir comme sonde pour comprendre l'origine de cette tension de surface, où en tout cas - si elle existe - de cette élasticité de surface, pour ensuite essayer de la contrôler. On voudrait voir si, en changeant les propriétés du gel et sa chimie, on peut changer ses propriétés de surface, et donc le comportement mécanique de surface associé. Donc c'est assez diff  rent des foules.

**NPR :** *Quels seraient tes futurs projets ? Tu voudrais retourner sur les foules ou rester dans ton domaine actuel ?*

**N. B. :** Idéalement, j'aimerais bien marier un peu les deux et avoir le meilleur des deux mondes. Je pense que j'aurais pendant longtemps un pied dans les foules. Après, ce qui m'intéresse, c'est un peu de coupler ce que je fais maintenant, c'est-à-dire plutôt la physico-chimie des gels, avec le thème de la matière active - le thème beaucoup plus vaste auquel appartiennent les foules.   videmment, quand on pense gels et matière active, on pense souvent aux matériaux du vivant. Ces matériaux sont vivants donc actifs, et beaucoup de nos tissus ont une rigidité très faible, avec une physico-chimie complexe. Les projets que j'ai en tête, ce serait d'essayer de fabriquer des matériaux actifs - qu'on pourrait utiliser pour des applications pratiques - mais dont les propriétés (de surface, mécanique, etc.) pourraient être modulables ou contrôlées par des particules actives à l'intérieur. Ce ne sont pas vraiment des foules, mais   a resterait un peu les mêmes concepts, en termes de façon d'aborder ces thématiques.

*Merci beaucoup à Nicolas Bain d'avoir pris le temps de répondre à nos questions !*

– propos recueillis par Juliette Savoye

## Interview de Jean-Michel Courty : la double vie d'un chercheur-vulgarisateur

Dans une aile de l'UPMC, quelques cartons et cartes à jouer peuplent le bureau de Jean-Michel Courty, qui trouve un peu de temps pour la magie entre recherche au laboratoire Kastler-Brossel et vulgarisation. Qu'a-t-il fait dans sa vie ? Beaucoup de choses ! Entre autres, la rubrique "Idées de Physique" de la revue *Pour la Science* avec son ami de Sorbonne Université Édouard Kierlik ou sa chaîne Youtube *Merci la physique* : on entre avec lui dans le détail de son parcours de physicien et de son expérience de vulgarisateur.

Et en guise d'introduction, un avertissement : « Attention au biais du survivant ! Ce que je dis c'est ce que j'ai fait, ça ne constitue pas nécessairement des conseils. Cela va de soi mais je tiens à l'expliquer. »

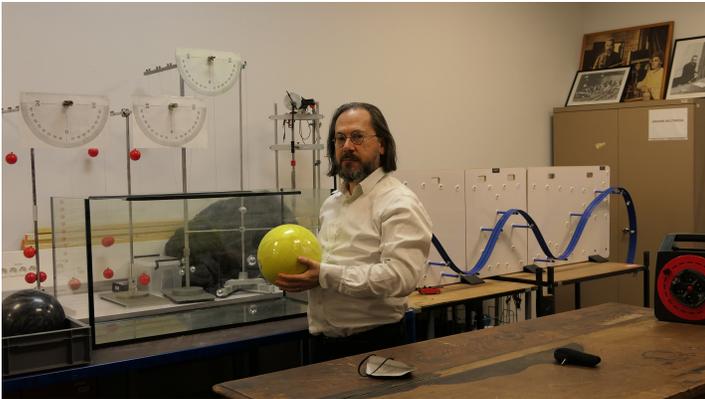


Figure 2 – Jean-Michel Courty dans sa chambre au trésor d'expériences pédagogiques à l'UPMC

**NPR :** Pour commencer, pouvez-vous nous résumer votre parcours de recherche ?

**Jean-Michel Courty :** Je suis spécialiste d'optique quantique. Je suis promo ENS  $\phi 85$ , j'ai soutenu en 89 une thèse sur les fluctuations quantiques de la lumière. C'était l'époque où il commençait à y avoir vraiment du développement au laboratoire, il y avait une expérience de réduction du bruit quantique de la lumière avec des faisceaux jumeaux, qui avait le record du monde. Ma thèse était théorique (sous la direction de Serge Reynaud, dans l'équipe de Claude Cohen-Tannoudji), pour comprendre comment produire de la lumière aux fluctuations réduites en interagissant avec des atomes, et quel pouvait être l'effet de cette lumière sur les atomes. J'ai passé

l'agrég de physique en 4e année, en parallèle de la thèse. Cela m'a permis d'avoir à la sortie de l'École un poste de caïman. Je faisais les TD du cours d'Électromagnétisme de S. Haroche. Cela a été très formateur. Ensuite, j'ai fait scientifique du contingent dans l'équipe Cohen, groupe d'Alain Aspect sur le refroidissement radiatif d'atomes d'Hélium métastable, c'était intéressant d'avoir une activité purement expérimentale après une thèse théorique. Après, j'ai été pris au CNRS et quand je suis rentré je suis rentré sur la manip de production de rayonnement comprimé avec des atomes froids : on utilisait comme milieu non linéaire des atomes de césium piégés dans un piège magnéto-optique.

**NPR :** Au fil de ces recherches, comment avez-vous choisi les thèmes ? Vous êtes-vous laissé guider par les opportunités ?

**JM. C. :** Pour la question des thèmes, c'est à la fois par mon intérêt sur les choses fondamentales, et mon aspect bricoleur a fait que j'avais envie de faire des manip aussi. C'est aussi la culture du laboratoire de combiner théorie et expérience. Après, c'est aussi beaucoup sur la question des équipes et des personnes. Il y a les sujets d'une part mais je pense que la question de avec qui on travaille et dans quel contexte est hyper importante : là dessus c'est du feeling. Il ne faut bien sûr pas oublier les stratégie de carrière, mais j'estime que ça ne peut pas être que ça. C'est toujours super important de discuter et d'échanger avec les gens autour, que ce soit pour le choix de labo ou autre, ce sont des conseils qui restent valables. J'étais donc dans cette manip dans l'équipe d'Élisabeth Giacobino, en optique quantique. Après, j'ai voulu reprendre la théorie : j'avais travaillé en parallèle sur la caractérisation des mesures quantiques non destructives, en collaboration avec Philippe Grangier : quand j'ai fait ma thèse il y avait son expérience de mesure QND (Quantiques Non Destructives), qui était faite avec des atomes et il n'y avait pas de méthode théorique pour calculer ce type de système. J'ai donc mis en place un cadre pour faire des calculs d'optique quantique avec des milieux atomiques. Par la suite, je me suis intéressé à l'étude des limites ultimes dans les mesures de précision et j'ai mis en place un formalisme pour étudier des instruments de mesure ultrasensibles dont les limitations sont fondamentales et pas seulement technologiques. C'est notamment le cas de la mission Microscope, qui a donné lieu à des publications sur le test du principe d'équivalence en satellite. Ils mettaient en place une expérience de friction froide, c'est-à-dire le fait de réussir à réduire la température de bruit par des moyens actifs, donc de réussir à avoir une température de bruit inférieure à la température physique du système. La question était encore de mettre un cadre là-dessus, de bien montrer que ça ne viole pas de principe de la thermodynamique. Il fallait mettre en place un formalisme permettant d'inclure les fluctuations quantiques dans le traitement de la précision de

ces instruments, mais en les mettant sur le même plan que les fluctuations thermiques, les fluctuations électroniques etc. Avant, c'était souvent soit classique soit quantique, là l'idée c'était de faire les deux, avec un formalisme représentant le processus de mesure comme un processus de diffusion, qui implique un formalisme de type matrice  $S$ , le même que celui des matrices de transfert dans les circuits électroniques (c'était l'approche que j'avais développée dans ma thèse). Ainsi, on décrivait le système en termes de matrices de transfert, d'impédances etc et ça permet d'inclure les fluctuations quantiques de manière très intéressante. J'ai même fait un papier sur l'ampli op quantique! On voit par exemple que dans un ampli op on peut modéliser le bruit par un générateur de bruit en tension et un générateur de bruit en courant, et si on veut que la mécanique quantique soit préservée il y a des relations d'unitarité : les tensions et courant sont des variables conjuguées, ce qui induit un bruit minimal dans l'amplificateur. J'ai aussi travaillé sur la modélisation du bruit quantique dans Virgo (le détecteur d'ondes gravitationnelles).

**NPR :** Y a-t-il des interactions entre vos parcours de recherche et de vulgarisation, des thèmes qui passent de l'un à l'autre? Comment s'est construit votre itinéraire dans la vulgarisation?

**JM. C. :** Aucune interaction! La vulgarisation, c'est quelque chose qui est venu parallèlement. J'ai toujours eu un intérêt pour ça. Je vais distinguer deux choses : la vulgarisation à proprement parler, c'est-à-dire ce que j'ai fait en mon nom perso, en tant qu'auteur, et un aspect communication scientifique, faire de la communication pour la communauté. En particulier, dans les laboratoires il y a ce qu'on appelle des correspondants de communication, et il se trouve que quand ces correspondants ont été créés ça m'a intéressé et j'ai été correspondant com du labo. Ça m'a permis de suivre des formations, d'être dans le réseau des communicants du CNRS, et en 96 quand il y a eu le prix Nobel de Claude Cohen-Tannoudji, il a fallu créer rapidement un site web pour le labo et pour le Nobel. C'est ce que j'ai fait. C'était le début du web, on écrivait les pages directement en HTML. Ça c'était en interne au labo, et puis il se trouve que j'ai été examinateur à Polytechnique de 96 à 2000, ce qui m'a demandé de refaire l'ensemble du programme de prépa pour créer des exercices et des sujets d'écrit. J'avais toujours été un gros consommateur de vulgarisation et de physique générale, ce qui m'a permis de me remettre dedans. Il se trouve que c'était le moment où Roland Lehoucq, qui est copain de promo a créé la chronique "Idées de physique" dans la revue Pour la Science (on était dans le même trinôme d'agreg : Lehoucq, Courty et Graner, lequel a fait de la vulgarisation dans le magazine "La Recherche") Roland a commencé tout seul puis je lui ai proposé deux sujets sur lesquels travailler ensemble. Le

premier sujet était sur le foehn, le second sur les ondes dans les artères (propagation du pouls dans les systèmes sanguins). Et ça s'est bien passé entre nous. Comme tenir une rubrique par mois c'est un rythme très soutenu, c'était intéressant de travailler à deux. On a travaillé un an ensemble, puis il s'est consacré un peu plus au thème "Science et science-fiction" donc il a voulu arrêter. Édouard Kierlik, qui faisait partie de notre petit groupe d'amis physiciens et mathématiciens, avait fait avec nous un article sur le fouet et ça c'était super bien passé. On a repris la rubrique tous les deux. Cela a été la base, il a fallu un peu de temps pour trouver l'angle de la chronique. Et ça fait maintenant 20 ans qu'on le fait, on a dépassé les 250 articles.

**NPR :** Est-ce que ça part un peu de la même envie? Vous parliez de bricolage tout à l'heure.

**JM. C. :** C'était surtout la curiosité et l'envie de redécouvrir la physique de base, et avec l'idée qu'encore aujourd'hui, on continue à (re)découvrir des choses de physique vraiment élémentaire. Par exemple, récemment, on a fait un article sur le Vantablack<sup>1</sup>. C'est là que j'ai réalisé qu'avec les coefficients de Fresnel sur la réflexion, il y a une partie réfléchive mais aussi de l'absorption : c'est-à-dire que par rapport au diamant, l'antracite par exemple absorbe plus, mais cela veut aussi dire qu'il réfléchit plus alors que l'indice de dispersion est le même. Typiquement dans cet exemple, j'avais enseigné l'électromagnétisme pendant plusieurs années en L3 sans jamais totalement me rendre compte de ce phénomène. Régulièrement, on se met donc à comprendre des choses de physique totalement élémentaires qui nous avaient échappées, et ça reste fascinant. Il y a toujours de la surprise et des découvertes, même sur des choses qui sont en fait super simples.

**NPR :** Est-ce l'une des raisons pour laquelle vous avez créé la chaîne YouTube? Pour avoir un côté plus expérimental?

**JM. C. :** Il y a plusieurs choses qui sont importantes là-dessus. Pour comprendre, je reviens un peu sur la chronique "Idées de Physique". Ces choses-là on les commence par envie. En revanche, quand on compte le fait de mettre de l'énergie sur quelque chose et de continuer à le faire, il faut réfléchir à son positionnement : est-ce qu'on est pertinent ou pas? Est-ce qu'on est légitime ou pas? Qu'est-ce qu'on apporte? *So what?* Dès le début, on s'est posé ces questions. On n'est pas des journalistes : vulgarisation, il y a plein de journalistes compétents qui font des tas de trucs très bien. Ce qui était important pour nous, ça a été de trouver un positionnement d'universitaires. Le fait de toujours tout vérifier et tout faire à

1. <https://www.pourlascience.fr/sr/idees-physique/du-noir-presque-parfait-17072.php>

partir des sources primaires, vérifier, apporter des nouveaux sujets et renouveler les anciens. Le fait d'être à deux est crucial pour cet aspect de vérification. J'insiste : même avec beaucoup d'expérience, on n'est jamais à l'abri de dire des bêtises, même sur des choses simples. Humilité. Surtout quand on veut être précis : quand on agite les mains c'est flou donc quand c'est faux souvent c'est seulement un petit peu faux, quand dans nos articles on cherche à être spécifiques, à donner des chiffres, on s'engage. En revanche ce qui est intéressant je trouve c'est qu'autant tout seul on va raconter des bêtises, autant c'est pas la peine d'être mille. À deux personnes affûtées, on peut éliminer 99,99% des bêtises et la preuve : sur vingt ans, on n'a jamais eu d'erreur repérée par des lecteurs. Or, il y a quand même des profs de prépa, des ingénieurs à la retraite qui nous lisent : on sait que dans la revue *Pour la Science* quand il y a des choses qui ne vont pas... On a eu des courriers, il y a juste une fois où il y avait un petit flou sur la question des décollages d'avions. On a dit une chose de manière peut-être pas suffisamment précise, on s'est fait tomber dessus par des instructeurs etc. Et c'était juste une imprécision : donc dès qu'il y a des choses qui ne vont pas, il y a des lecteurs pour le dire. Et ça, c'est vraiment le fait d'être à deux, l'aspect convivialité qui est important. Ensuite, le fait de faire ces chroniques, ça nous a conduit à faire des conférences grand public. On a commencé avec quelques conférences classiques où on passe des slides en racontant des choses, et très rapidement on a eu envie de faire des expériences de démonstration. Pour montrer que ce dont on parle, c'est pas un monde imaginaire mais le monde qui nous entoure. Ça c'est le premier point, le deuxième c'est que le fait de faire des expériences ça permet de toucher un public bien plus large - et c'est sympa ! C'est vraiment la question d'élargir l'audience : de pas être que dans le conceptuel, mais de pouvoir être dans le factuel, et ce qui fait qu'on peut faire nos conférences tout public. On en a fait devant des classes d'école élémentaire, un public familial : on fait des expériences puis on les explique. Et après, on fait aussi devant des classes de prépa : tous niveaux. C'est vraiment les manip qui permettent de faire ça.

**NPR :** Est-ce que les manip sont un axe de comparaison pertinent entre les différents médias de vulgarisation, dans *Pour la Science*, en conférence ou sur Youtube ?

**JM. C. :** Dans *Pour la Science* on s'est positionné comme les experts des questions sans expect, comme on dit. Il y a toujours cette question de légitimité. Quand il y a un expert sur un sujet, c'est à lui d'expliquer. Donc globalement, on essaie de se positionner un maximum sur les choses sur lesquelles il n'y a pas d'expert en France. Et si il y a un expert du sujet, on essaie de s'écarter de ce qu'il dirait pour replacer dans le contexte de physique générale. Par exemple,

on a fait trois ou quatre articles inspirés d'articles soit de Lydéric Bocquet, soit de Christophe Canet mais dans l'esprit de la chronique, en restant sur des choses basiques. Ce ne sont pas des articles centrés uniquement sur la publi, ils sont inspirés de cette publi mais voient plus général et n'adoptent pas une perspective que les spécialistes vont nécessairement avoir. Ensuite il y a l'aspect des manip. C'est relié : souvent, les sujets qu'on traite dans les conférences correspondent à certains qu'on a fait en chronique ou inversement - mais pas nécessairement, c'est complémentaire. Et après, la chaîne Youtube est venue avec l'occasion du confinement. L'idée était encore d'être complémentaire : proposer des manip super simples, que tout le monde peut faire. C'est pour ça que ça marche super bien avec les enfants, à partir de huit ans. À la fois dans un esprit petit débrouillard, ou Palais de la Découverte, et aussi en constatant que la plupart des manip qui sont habituellement proposées à faire aux enfants sont pour des gens motivés : il faut aller chercher un truc à la cave, un truc au grenier, faire trois bricolages... Là vraiment, la manip idéale c'est on est à table et hop on prend un mug ou une tasse à café qui est là, une petite cuillère et on fait instantanément la manip. (*il sort un mug et tape avec une cuillère à différents endroits sur le haut de la tasse : la hauteur du son dépend de l'endroit du choc !*) C'est typiquement la manip qu'on peut faire de manière totalement impromptue : "ah bah tiens regarde..." Ça c'est pour moi la manip idéale. Et par ailleurs, on voit que cette manip là est peu connue et qu'elle fait appel à de la physique assez profonde : l'idée est de réussir à toucher des choses de physique très avancées avec des trucs rudimentaires. Là encore, quand j'ai fait la chaîne, je me suis demandé ce que je venais faire : des trucs avec des manip comme ça il y en a des tonnes et depuis des centaines d'années. Il y a la question de l'interprétation (au sens de l'interprète d'une chanson ou d'un morceau de musique) : soit il y a des vidéos pour enfants, dans lesquels il y a très peu de science, c'est carrément centré sur le bricolage, soit des trucs de vulgarisateurs mais pas forcément physiciens donc avec un contenant physique assez pauvre, soit des chaînes où c'est vraiment de la physique, mais à ce moment-là c'est des trucs de physique hyper avancés etc. Donc pour moi il y avait une place : à la fois des expériences super simples mais qui puissent avoir un peu de profondeur. Ensuite, j'ai essayé aussi de trouver un format original. Les youtubeurs c'est des djeuns qui font face cam - quasiment toutes les chaînes c'est du face cam par des jeunes qui causent à leur pairs. Moi je ne peux pas : vu mon âge, plus de la cinquantaine, je suis prof donc si je suis face cam de toute façon je connais mon ton, à la fin c'est le prof qui parle. Et ça je ne voulais pas. Après, ça ne veut pas dire que maintenant je m'interdis de faire des face cam. Et il se trouve que ma femme fait du théâtre d'improvisation, donc on s'est dit qu'on allait faire un format particulier. Comme elle n'est pas du tout physicienne, ça permet de mettre une distance. Ce qui est super intéressant,

c'est l'idée qu'on fasse une petite scénette de dialogues un peu décalée et déjantée dans laquelle il va y avoir la "recette" de la manip et des éléments de compréhension. Je vais pointer sur les phénomènes physiques qui entrent en jeu. Là encore, dans ce qui existe, soit c'est très mode d'emploi et on se fait chier. Et puis, il y a les explications, souvent ça fait très leçon de physique. Pour moi l'idée c'était de se dire : pour la plupart des thèmes il y a déjà des explications détaillées ailleurs, donc je vais faire au plus vite en faisant en sorte qu'il y ait tous les éléments pour que les gens puissent reproduire – mais en me disant que si à un moment donné il y en a qui veulent plus d'explications il pourront toujours trouver comment la refaire ailleurs. Par rapport à la physique, l'idée est de ne pas perdre le public, donc de donner des éléments d'explication, pas trop longs, et en même temps avec ma vraie valeur ajoutée personnelle, qui fait que ça intéresse les profs de physique et les normaliens parce que je n'ai pas peur d'aller au fond, je le fais juste dans une forme qui ne va pas rebuter les plus jeunes. Voilà : il y a le petit passage d'explications, j'essaie de faire en sorte que ces explications parlent, au maximum, à tous, et ensuite il y aura quelques explications précises, "codées", pour les spécialistes. C'est pour ça que ça marche aussi bien avec les profs de physique : il y a de la matière, il y a la profondeur mais elle n'est pas au premier plan, ce qui fait que ça permet de toucher tout le monde. Ça c'est quelque chose qu'on a appris en faisant les chroniques et les conférences. C'est un certain savoir faire que de réussir à s'adresser en même temps à des audiences très différentes – c'est ce dont je suis le plus fier, ne pas faire le truc pour les gamins, beta, ou le truc seulement pour les spécialistes mais de faire du multi niveau.

**NPR :** Est-ce que malgré tout il y a des influences, des trouvailles qui passent de l'enseignement à la vulgarisation ?

**JM. C. :** Il y a une certaine fluidité. Dans les sujets que je fais, il y a d'abord les manips que j'ai envie de faire, par exemple celle où on recouvre une bougie avec une carafe et l'eau monte. C'est une manip que j'avais toujours vue dans les livres et que je n'avais jamais faite ; il y a beaucoup de manips simples qu'on lit mais qu'on ne fait pas. Et ce qui est génial avec la chaîne c'est que ça m'a permis de les faire, et ça en vaut vraiment le coup. Sur cette manip là il y a beaucoup d'explications qui sont fausses. En faisant la biblio, j'ai vu qu'il y avait une publication récente qui expliquait sérieusement ce qui se passait. Je suis aussi tombé sur ce qu'avait fait Lavoisier sur le sujet aussi. Et en fait ça a donné lieu à une chronique!<sup>2</sup> Idem, il y avait le paradoxe de Braess. C'est un système où on coupe une ficelle et un objet remonte. Ça, ça fait au moins 5 ans que je l'avais dans mon tiroir mais je

n'arrivais pas à convaincre Édouard et la rédaction de Pour la Science de le faire, ça ne leur parlait pas. J'ai profité de la chaîne pour faire la manip<sup>3</sup> et une fois que la manip était faite on s'est rendu compte que ça valait le coup d'en faire une chronique<sup>4</sup>. Inversement il y a des sujets qui sont venus soit des chroniques soit d'enseignements, par exemple une manip où je trempe un verre dans l'eau pour faire changer la hauteur du son (au lieu de mettre de l'eau dans le verre). Pour le paradoxe de Braess, après je l'ai faite sous forme de quizz, ce qui fait que cette manip a vraiment marché pour le tout public et pas uniquement les physiciens. Il y a l'aspect incroyable de l'expérience, et en même temps - je suis beaucoup sur Tweeter aussi - sur Tweeter, les universitaires physiciens professionnels ont également visionné et c'est in fine ma vidéo qui a le plus de vues, parce que oui, c'est fascinant pour tout le monde. Le paradoxe est connu et régulièrement, quand on parle de circulation les gens en parlent un peu en expliquant qu'on peut réduire les embouteillages en coupant des routes. Mais là l'idée d'avoir la manip, tout de suite ça donne plus de force. Il y a une autre manip où on fait chanter un verre de cristal en frottant le bord et on le plonge dans l'eau. Au lieu de mettre de l'eau à l'intérieur, on la met à l'extérieur. C'est une manip que je connais depuis que j'ai des étudiantes de L3 qui avaient fait un projet sur le sujet. J'avais fait une biblio à l'époque sur les verres qui chantent, et j'avais fait cette manip que par ailleurs, à ma connaissance, je n'ai jamais vu faire nulle part. Là on voit typiquement l'effet de l'enseignement, des projets. Un point sur Tweeter. J'avais fait pendant un été ce que j'ai appelé des questions de physique. C'étaient des questions quantitatives que je posais sous forme d'un sondage, puis je mettais la solution avec une image et un paragraphe. Il y avait ça d'intermédiaire sur les réseaux sociaux. Pour dire que j'étais pas mal sur les chroniques mais aussi intéressé par l'aspect interactions et réseaux sociaux. Et c'est aussi ça qui m'a aidé à faire la chaîne YouTube. La communauté Tweeter m'a permis d'avoir un démarrage de chaîne assez rapide. C'est quand même un gros coût d'énergie de faire des vidéos donc c'est bien d'avoir des retours : j'ai réussi à monter assez vite pour que ça reste motivant. Ensuite le fait d'avoir été retweeté par des gros comptes a aidé à monter. Après il faut aussi évoluer donc je ne m'interdis pas de faire des choses uniquement pour physiciens avec du matériel de professionnel. En particulier, les expériences que j'ai faites avec la caméra de thermographie, ce qui m'a permis de faire la série sur le four à micro-onde. Ici l'expérience ne nécessitait pas une telle caméra mais c'était un vrai plus. Par exemple, la cuisson des pommes de terre. Ce sujet est super intéressant. J'ai commencé par faire un article sur "Combien de temps

2. <https://www.pourlascience.fr/sr/idees-physique/la-bougie-de-lavoisier-20743.php>

3. <https://www.youtube.com/watch?v=GBuQx1fsn0o>

4. <https://www.pourlascience.fr/sr/idees-physique/fluidifier-le-traffic-en-coupant-une-route-19584.php>

faut-il pour faire cuire un œuf d'autruche?"<sup>5</sup>, pour parler de diffusion de la chaleur et de lois d'échelle. En faisant ça on s'est dit "c'est super, on va faire une chronique sur le sujet". On se met aussi à parler de diffusion dans les pommes de terre, et on fait des petites simulations avec des évaluations quantitatives. Par ailleurs, j'ai régulièrement fait des choses autour du four à micro-ondes (on m'invite même sur des plateaux Tv pour en parler!) Je me dis : on va filmer une pomme de terre coupée pour voir la diffusion de la chaleur à l'intérieur<sup>6</sup> et je vais en profiter pour montrer que dans les pommes de terre, ça chauffe dès le début de manière homogène. Sauf que je m'aperçois que dans la pomme de terre, le chauffage n'est pas homogène, mais il y a des points chauds au centre, avec une distance et une structure dont la taille est bien plus petite que la longueur d'onde, de 5 ou 6 fois. Et je réalise qu'il y a des résonances dans la pomme de terre parce qu'il y a un indice qui est suffisamment grand pour qu'avec les coefficients de Fresnel on ait un piégeage et des résonances de Mie. La longueur d'onde dans la pomme de terre n'est plus 12 cm mais 2 cm, ce qui explique le fait qu'on ait des structures de taille plus petite. Là je me dis qu'il faut faire un article dans *Pour la Science* là-dessus. Je fais de la biblio et je m'aperçois qu'il y a non seulement les modes de Mie à l'intérieur mais aussi que quand on approche deux pommes de terre on a aussi une concentration d'énergie entre les deux! Ce qui fait la fameuse manip "on fait du plasma entre deux pommes de terre"<sup>7</sup>. Cette publi m'interpelle car en rapprochant les pommes de terre, on a couplage entre deux ondes évanescentes. On a une localisation de l'énergie à du  $\lambda/100$  -  $\lambda/10$ . On a comme une cavité entre deux trucs convexes et pas concaves. Il se trouve que dans mon équipe de recherche, Serge Reynaud est spécialiste de la force de Casimir - et les modes qui comptent pour cette force sont justement les modes entre onde évanescente et couplage. Et je me dis, "mais c'est de l'optique en champ proche!" Dans le four à micro-onde, on réussit à faire des manip d'optique en champ proche. On a donc accès à des phénomènes de physique hyper modernes et on peut expérimenter dessus, ce que j'ai proposé en projet de Master! Ici on voit que plein de choses se mélangent avec de la physique intéressante dans un phénomène du quotidien. Moi ce que je trouve satisfaisant c'est d'avoir de la profondeur dans les choses simples. Ça sert à rien la course à l'armement, avec des choses simples et bien maîtrisées on arrive loin.

**NPR :** Vous avez un rôle dans les olympiades de physique, que pensez-vous de la préparation française?

5. <https://www.pourlascience.fr/sd/physique/comment-cuire-un-oeuf-d-autruche-13127.php>

6. [https://www.youtube.com/watch?v=y\\_LKYu1yXQc](https://www.youtube.com/watch?v=y_LKYu1yXQc)

7. <https://www.pourlascience.fr/sd/physique/raisin-flambe-aux-microondes-22312.php>

**JM. C. :** Il se trouve que j'ai fait les IPHO en 1983 et en 1984 les ICHO. Peu après la France a arrêté sa participation puis a repris il y a maintenant une vingtaine d'années. La préparation et sélection pour les IPHO étaient très traditionnelles. Et comme j'étais en contact pour essayer de faire évoluer ça avec l'Inspection Générale, j'ai fait une première année de formation pour les profs des centres de formation puis j'ai mis en place une épreuve de résolution de problème pour la sélection aux IPHOs. J'ai contribué à préparer les premiers sujets. Ce qui est intéressant c'est de savoir comment on évalue ce type de questions. Et on a vu qu'avec de la double correction on pouvait avoir de l'évaluation tout aussi pertinente qu'avec des questions classiques.

**NPR :** Quand on voit toute la structure qu'il y a autour des maths - Animaths etc. . . - est-ce que vous ne regrettez pas qu'il n'y ait pas ça en physique?

**JM. C. :** Non, je ne regrette rien. C'est pas comparable. Ce que je trouve super c'est que la France se soit remise dans les Olympiades. Là il y a eu une évolution sur le fait que c'est en prépa et plus en terminale. C'est sûr que nous on était généralistes, et quand on y allait on se retrouvait face à plein de pays où il y en avait qui étaient déjà hyper spécialisés en physique. Vu les différences entre les systèmes éducatifs, c'est sûr que c'était mieux de faire au niveau prépa par rapport aux autres pays pour se retrouver plus dans l'esprit. Par ailleurs j'avais fait les Olympiades de Chimie en sup avec le système de préparation chaque semaine et c'était une super chouette expérience, à mon avis c'est plus adapté de faire ça en prépa car il y a un vivier de personnes motivées et de centres de formation.

**NPR :** Un mot pour conclure?

**JM. C. :** Quand on est dans les études, c'est pour l'année d'après, mais à un moment donné on se retrouve en poste permanent (moi ça a été très tôt : en 90, j'avais 24 ans, et je suis quasiment resté toute ma carrière dans le même labo, bien qu'avec une énorme mobilité thématique) et là nécessairement le rythme change et il ne faut pas perdre de vue le temps moyen. Les évolutions dans son travail ou sa carrière, ça se prépare très en amont. Il y a plein de situations que je n'ai pas créées mais où j'étais prépositionné, sans que ce soit nécessairement volontaire. Ensuite par exemple les chroniques, il a fallu beaucoup de temps pour avoir une reconnaissance de ce travail, au moins 5 ans pour la communauté des physiciens, et encore bien plus dans le monde de l'enseignement. Donc il ne faut pas faire les choses comme ça pour que ça rende. Après rien ne peut être totalement gratuit donc s'il n'y a pas de retour, il faut se poser des questions. C'est la politique des petits cailloux : un article par mois, au bout d'un an ça en fait

douze, au bout de vingt ans ça en fait 250 et on est dans une position totalement incontestable. Ce qui est bien c'est que dans notre système on peut avoir plusieurs vies, c'est compliqué, mais c'est possible avec régularité et bonne accumulation. Mais il faut qu'il y ait une envie et une intention derrière sinon on ne tient pas la distance. Ensuite, une grande partie de ce qu'on fait au quotidien, on le fait parce qu'il faut le faire... Mais c'est important de garder de la place pour faire ce qui vous tient vraiment à cœur. Et ça faites-le le mieux possible. Je suis persuadé qu'à la fin ça compte. L'idée c'est d'être le seul à être capable de faire quelque chose, c'est vrai de manière générale et pas seulement en recherche. Mais quand on a des trucs spécifiques comme ça, il faut bien s'interroger avant que ça prenne une place importante. Au début on se lance, mais c'est secondaire et ça doit le rester, c'est la cerise sur le gâteau. La cerise ne doit pas remplacer le gâteau! Il faut rester très patient. Puis un jour la cerise devient assez grosse pour être un gâteau en soi. Il se trouve qu'en 2005 j'ai été contacté pour être chargé de mission pour la communication scientifique du CNRS. Là encore, ça a été une activité que j'ai faite à fond. Quand on veut bien le faire, tout ce qui est vulgarisation et communication demande de se former. Au début on est sur compétence naturelle mais c'est important de savoir ce qu'on fait, d'avoir un cadre théorique, de pouvoir progresser dans ce genre de choses. Les choses dans lesquelles on est naturellement bon, il faut les cultiver, les travailler. J'ai lu par exemple la référence sur la marque de Kapferer, 800 pages mais maintenant j'ai compris les systèmes de marque et ça m'aide beaucoup sur les questions de positionnement.

NPR : Merci beaucoup Jean-Michel Courty!

– propos recueillis par Victor Lequin

## SIR, I HAVE A QUESTION

### New problems

Did ski change your mind so much you don't have any question left ticking over in your mind? Or rather have you spent the past month crunching on one single problem day and night?

Whichever it is, here is a selection of 10 questions to warm up those neurons of yours in the midst of winter...

- I :** What are the effects of opening the oven's door during cooking, and how useful is it?
- II :** Could you estimate the difference in light intensity you see in Paris on a average day and in the mountains, given all the snow reflecting sunlight?
- III :** Take a stain (e.g. a pollutant or a colorant) in a turbulent medium. How does its radius scale with time?

**IV :** You are cooking choux pastry. Is there a relation between the initial and final radius of your pastry? Any dependence in time?

**V :** Could you estimate the difference in sound pollution during the day versus during the night?

**VI :** When removing sticky tape from something, one method to remove remaining patches of glue is to stamp them with the removed bit of tape. Why would that work?

**VII :** How does a windmill gain momentum from a smoothly flowing wind?

**VIII :** How many bites is a trilobite? Other words, how much information do their DNA contain?

**IX :** How many moles is a mole? (the animal)

**X :** How much energy in heating could you save by smartly toggling heating according to sunlight exposure?

## Answers to previous questions

Some Fermi problems!

Question **II** of  $N_{13}$  :

*I would like to optimize my paper consumption. How many sheets of paper should I provide to take notes this year? Let's say that I follow 5 lectures of 4 hours per week.*

Adults can comfortably write around 100 letters per minute [1]. Studies achieve such numbers with copying tasks, but this will be a reasonable estimate for us to use. Suppose one writes this way for 75 % of a lecture, and can fit some 50 letters per line of a 60 lines page. This yields 1.3 pages per hour, which is definitely in the right order of magnitude (though rather a low estimate). Over 30 weeks of lessons, we get 800 pages! For the record, this weights approximately  $800 \times 90 \text{ g m}^{-2} \times 21 \text{ cm} \times 29.7 \text{ cm} = 4.5 \text{ kg}$ .

[1] S. GRAHAM, V. BERNINGER, N. WEINTRAUB & W. SCHAFER, *Development of Handwriting Speed and Legibility in Grades 1-9*, The Journal of Educational Research, 2010

Question **V** of  $N_{13}$  :

*How much time does it take to breathe 1/10 of all  $\text{O}_2$  of the earth?*

Let us estimate all the dioxygen stored in the atmosphere. A first, rough estimate would be to suppose that the proportion 20 % of  $\text{O}_2$  in the air holds at any altitude and to use the simple barometric formula  $\rho(z) = \rho_0 \exp(-Mgz/RT)$  for constant values of  $g$ ,  $T = 300 \text{ K}$  and  $M = 29 \text{ g mol}^{-1}$ . We can find  $\rho_0$  knowing  $p_0 = 1 \text{ atm}$  :  $\rho_0 = M/R \times p_0/T$ . Integrating

this for all volume outside the Earth, our first guess is  $1 \times 10^{18}$  kg.

In reality,  $g$  varies and we should take in count the roundness of the Earth, in this case the distribution of pressure for a perfect gas becomes  $\rho(z) = \rho_0(1 + z/R_T)^{-2} \exp\left(MgR_T/RT\left((1 + z/R_T)^{-1} - 1\right)\right)$  (see figure 3).

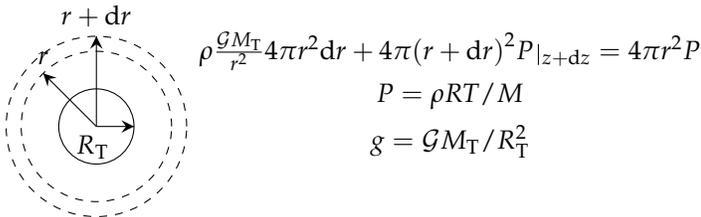


Figure 3 – Calculation of the pressure distribution

But, this formula actually yields an infinite amount of matter in the atmosphere, pointing to the real problem in our assumptions : a constant temperature. Some workarounds to this exist, for instance making the hypothesis of an isentropic atmosphere rather than an isothermal one. Luckily, our first estimate gets the result surprisingly right, since the whole mass of the atmosphere is around  $5 \times 10^{18}$  kg.

By quickly eyeballing how much variation in volume occurs in one's lungs when they breathe to  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} = 0.8 \text{ L}$  (not far from the average 0.5 L). For a reasonable value of 15 breaths per minute, and 7.9 billion human beings on Earth, the order of magnitude of the result will be 3000 years, assuming the air we breathe always has a density of  $\rho_0$  (then, the result is actually independent of  $p_0$ ). This should be put in perspective to the fact that we as humans do not represent the whole of living species on Earth.

Question III of N<sub>12</sub> :

*In pixels, what is the resolution of our sight ?*

We could try to count the number of receptors paving our retina : if we roughly estimate its surface to that of a half-sphere of radius 3 cm and eyeball the surface of one photoreceptor cell to be about  $(1 \mu\text{m})^2$ , we would get of the order of one billion receptors. The truth is somewhat lower, with 120 million rods and 6 million cones – which we had no way of distinguishing in our estimate.

We may check that diffraction does not dramatically change our results so far. Taking our pupil to be 3 mm wide, the smallest angle we can make out is around half a minute. Projecting this on the retina gives an elementary surface of  $6 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ , lower than the actual surface of a photoreceptor.

– Victor Lequin

## MYSTERY PHOTO

### Solution of N<sub>16</sub>

Il s'agit de l'instrument de mesure MIRI, embarqué sur le télescope spatial James Webb et dont la N<sub>16</sub> avait consacré une partie de son dossier. On le voit installé dans une chambre de cryogénie pour tester le comportement de son système de refroidissement une fois dans l'espace. Quant au James Webb, après son lancement sans

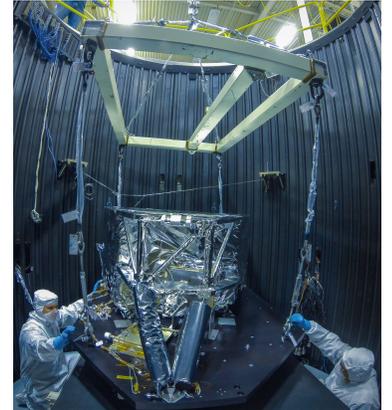


Figure 4 – La photo N<sub>16</sub>

problème le 25 décembre dernier, il a suivi sa trajectoire jusqu'au point de Lagrange L<sub>2</sub> et a déplié ses miroirs, qui restent à finir d'aligner. Plusieurs étapes suivent de calibration mais il a déjà fourni sa première image il y a quelques semaines, un impressionnant selfie! Premières images calibrées courant printemps.

### Photo of N<sub>17</sub>

Saurez-vous trouver ce que cette cuve et ces boules de bowling suggèrent (figure 5)? Indice : Jean-Michel Courty est hors champ à côté.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank our contributors for their magnificent articles, in particular thank again to Jean-Michel Courty and Nicolas Bain for their kindness during the interviews. We also thank everyone who sent us their feedback and encouragements. And as always thank you, dear reader!

**We need you!** If you would like to contribute or support us, don't hesitate to contact us :

- Juliette Savoye  $\varphi 21$  :  
juliette.savoye@ens.fr
- Victor Lequin  $\varphi 21$  :  
victor.lequin@ens.fr
- Oriane Devigne  $\varphi 21$  :  
oriane.devigne@ens.fr
- Esteban Foucher  $\varphi 20$  :  
esteban.foucher@ens.fr
- Rodrigue Orageux  $\varphi 20$  :  
rodrigue.orageux@ens.fr



Figure 5 – Photo mystère de la  $N_{17}$

— Guillaume de Rochefort  $\varphi_{19}$  :  
guillaume.de.rochefort@ens.fr  
(The Editorial Board)

---

<https://normalephysicsreview.netlify.app>