



Normale
Physics Review

INPR

École normale
supérieure

— *Fights Bohr-dom* —

Édito N₂₆ : Escapades scientifiques

Ce numéro de la NPR est peut-être l'un de ceux qui reflète le mieux l'esprit de ce journal : les deux interviews que nous vous proposons, celle de Françoise Combes, astrophysicienne et professeure au Collège de France, et celle de Marc Srednicki, théoricien américain dont les travaux se concentrent sur le chaos quantique, montrent à la fois la diversité du parcours de physicien·ne, de ses surprises, de ses défis et de ses enjeux, et la curiosité inlassable qui le caractérise uniformément. Cette curiosité qui est le moteur des inévitables digressions ponctuant un entretien avec un·e physicien·ne, car s'iels se plient à l'exercice de parler d'eux, iels préfèrent tous parler de physique – nous espérons que vous apprécierez autant que nous ces discussions et leurs escapades dans le cosmos ou la physique des particules.

Et si les infiniment grand et petit ne vous font ni chaud, ni froid, thermalisez-vous donc avec notre glaciale recommandation de lecture sur La petite histoire des flocons de neige d'Étienne Ghys ou avec quelques chiffres sur la consommation en CO₂ du départ en stage des M1, qui auront tôt fait de réchauffer l'atmosphère.

Finalement, n'oubliez pas vos devoirs à la maison, avec nos habituels problèmes et photo mystère. Bonne lecture !

– Victor Lequin pour l'équipe de rédaction

SOMMAIRE

Class life	2
Eco-friendly adventures of the M1 students	2
Physicist's life	3
Conseils de lecture : <i>La petite histoire des flocons de neige</i>	3
Discussion avec Françoise Combes	4
Mark Srednicki : fixing a hole (the physicist's way)	7
Sir, I have a question	11
New problems	11
Mystery photo	12
Solution of N ₂₅	12
Photo of N ₂₆	12
Acknowledgements	12



normalephysicsreview.
netlify.app



facebook.com/
NormalePhysicsReview

CLASS LIFE

Eco-friendly adventures of the M1 students



Figure 1 – In the train from Paris to Pisa

Did you know that you can go to Japan by train? It *only* takes 13 days from Paris! Jokes aside, students that went to Europe for their internships had the chance to travel by train, and enjoy eco-friendly adventures. You may want to read this epic account by Théo Meier :

« If you travel far, by train, you will stop over in some cities, that you can discover during the few hours you have between two trains. The first step of my trip to Stockholm was Köln (Cologne). In Köln, the train station is near the huge gothic

cathedral, so I went there to see it. In the courtyard, there was a gathering of elderly people, that wanted to sing for the climate. Knowing that, I joined them to sing to the top of my lungs covers of *Bella Ciao* and *Another Brick in The Wall*, so God itself could witness our will! I am still waiting for a miracle to happen, even though I believe that we should have sung in front of a political building, for more real results, but who knows? Maybe God loves to listen to remixes of Pink Floyd? »

On average, traveling to Europe by train costs 11.6 kg of CO₂e per person *, whereas the plane costs 144 kg of CO₂e. If you're traveling outside of Europe, the average emission per person is 2395 kg of CO₂e.

Most of the students actually took a train when possible. If everyone traveling to Europe had taken the train, we would have saved approximately 587 kg of CO₂e (147 kg per traveler), which corresponds to 1151 vegetarian meals, so more than a year's worth of food for one person.

And it doesn't even take that long! Considering the places people went to this year, the average travel time by train is 8.2 hours. That could be a nice time to read that book you've always wanted to read, or to finally catch up on your favorite series.

Imagine traveling across Europe with beautiful landscapes visible from the window. A nice way to let your mind wander, and dream about the upcoming adventure of going abroad for a few months.

– Juliette Savoye et Oriane Devigne



Figure 2 – Mannheim, on the way to Vienna

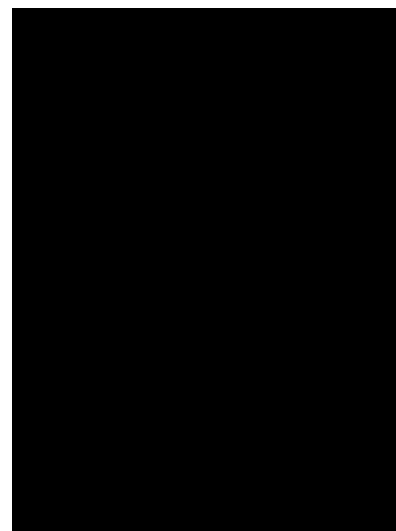


Figure 3 – The famed Channel Tunnel, literal landmark of Franco-British collaboration

* Data for this article was estimated using the ADEME calculator and averages are performed over destinations visited by M1 students this year, weighted by the number of students visiting each place.

PHYSICIST'S LIFE

Conseils de lecture : *La petite histoire des flocons de neige* d'Étienne Ghys

Alors que le printemps arrive, la rédaction repense avec nostalgie aux délicats flocons de neige qui sont tombés sur Paris il y a quelques mois. C'est pourquoi nous vous proposons une revue de livre qui traite justement de ces merveilleux flocons.

Le livre s'intitule *La petite histoire des flocons de neige*, écrit par Étienne Ghys, un mathématicien et vulgarisateur français. Publié aux éditions Odile Jacob en 2021, cet ouvrage de vulgarisation nous fait découvrir la beauté et la complexité des flocons de neige à travers des notions physiques, mathématiques et chimiques mais aussi en explorant des mythes et des récits ancestraux.

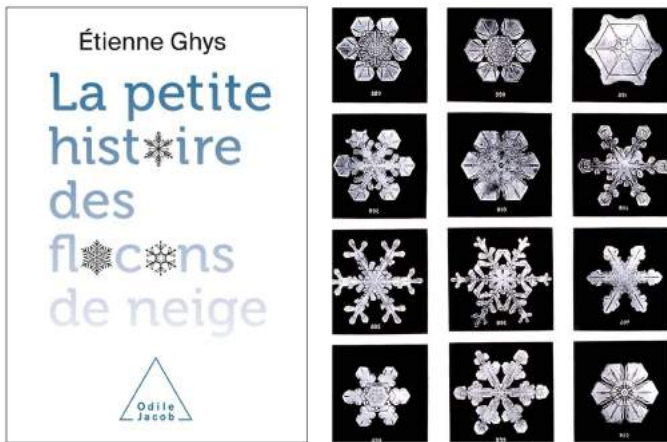


Figure 4 – Couverture du livre et photographies de flocons prises par Wilson Bentley (1902)

Le livre s'organise autour de portraits de scientifiques sur plus de cinq siècles : du premier homme à avoir dessiné un flocon de neige en 1555 jusqu'aux mathématiciens modernes développant des modèles pour comprendre la croissance de ces flocons. Cette plongée dans l'histoire des sciences nous permet de découvrir pas à pas les propriétés géométriques, les conditions de formation, les diverses étapes de la naissance des flocons ainsi que les études actuelles menées sur la neige.

Il répond notamment à des questions que vous vous êtes peut-être déjà posées comme :

- Comment un flocon de neige se forme-t-il ?
- Pourquoi les flocons ont-ils une forme hexagonale et quels paramètres physiques dictent la forme unique de

chaque flocon ?

- Comment les molécules de glace s'organisent-elles pour former des motifs géométriques complexes, tels que les plaques, les colonnes et les dendrites ? En quoi cela dépend-il des conditions atmosphériques ?
- Comment les scientifiques ont-ils étudié les propriétés des flocons de neige à travers l'histoire ?

Mais au-delà des aspects scientifiques passionnants, cette lecture suscite aussi la fascination devant la beauté de ces phénomènes naturels et la complexité sous-jacente d'une simple chute de flocons de neige. Cette lecture nous invite à s'émerveiller et à observer avec d'autant plus d'attention les flocons de neige et les cristaux de glace.

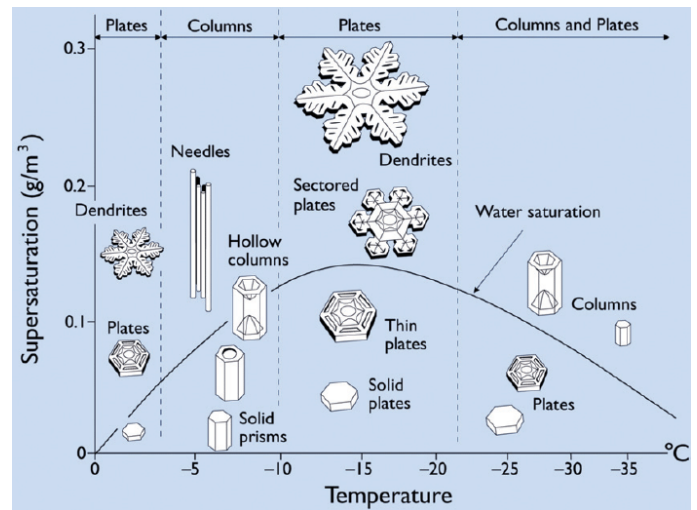


Figure 5 – Diagramme de Nakaya : dans quelles conditions se forment quels cristaux de glace. Source de l'image : Libbrecht, *The physics of snow crystals* (2005).

C'est un livre d'une petite centaine de pages rempli d'illustrations et de photos toutes plus belles les unes que les autres. Si la majorité des sections du livre sont accessibles au grand public, l'auteur rentre également dans des détails techniques comme le diagramme de Nakaya ou la symétrie d'ordre 5 des cristaux de neige, qui est très rare dans la nature et qui renforce la fascination que l'on peut éprouver en observant ces objets. Ce livre de vulgarisation ne manquera donc pas d'émerveiller et de satisfaire la curiosité de notre lectorat aguerri.

Le tips de la rédaction : Si vous êtes en manque d'inspiration, c'est un très bon cadeau de Noël / d'anniversaire pour les amoureux de la nature.

Bonne lecture !

– Oriane Devigne

Discussion avec Françoise Combes

L'association PhysicienNES, engagée pour lutter contre les stéréotypes sur les femmes en sciences, a rencontré l'éminente Françoise Combes pour parler de ce sujet ainsi que de ses recherches. Celle-ci est astrophysicienne à l'Observatoire de Paris, professeure au Collège de France sur la chaire Galaxies et Cosmologie, et vice-présidente de l'Académie des Sciences.

PhysicienNES : *Pourquoi avez-vous choisi ce l'astrophysique, et plus généralement la physique ?*

Françoise Combes : J'ai choisi la physique parce qu'on peut faire des recherches et des découvertes beaucoup plus concrètes qu'en mathématiques, par exemple. Au début, je suis rentrée à l'École Normale en maths/physique, mais tout de suite, la physique a été beaucoup plus concrète et plus attirante.

Mais je ne savais pas du tout que j'allais faire de l'astrophysique. Au début, j'ai fait un DEA (ce qu'on appelle aujourd'hui un master) de physique atomique et moléculaire. Ça m'a servi parce qu'il y a beaucoup d'atomes et de molécules dans le milieu interstellaire. Et au moment de faire une thèse de troisième cycle, j'ai visité quelques laboratoires. J'ai notamment visité un laboratoire d'astrophysique qui disait qu'il y avait des modèles de Big Bang en cosmologie très intéressants, symétriques en termes de matière/antimatière.

Pour l'instant, ce qu'on sait du Big bang, c'est que la matière domine au départ. Normalement, tout devrait s'annihiler, mais il y a un petit excès d'un milliardième de matière et c'est pour ça que nous sommes là en train de parler. On n'a toujours pas trouvé aujourd'hui pourquoi il y a cette petite asymétrie. Donc le plus simple était de supposer qu'il y avait symétrie, avec des galaxies qui se forment d'un côté, et les anti-galaxies de l'autre. Et lorsqu'elles se rencontrent, elles annihilent beaucoup, elles font beaucoup de rayons gamma. Et ce groupe-là travaillait là-dessus. Ça m'a paru très intéressant.

Notre contribution, c'était de savoir comment la nucléosynthèse primordiale se fait dans ce modèle-là. C'est dans le modèle standard : dans les premières minutes de l'univers, il y a des réactions nucléaires énormes, parce que la température est à des millions de degrés. On a fait des calculs de physique nucléaire et ça ne marchait pas avec notre modèle : on n'avait pas les bonnes proportions d'hélium et de deutérium qu'on voit aujourd'hui dans les étoiles.

ΦNES : *Vous avez fait ça pendant un doctorat ?*

F.C. : C'était juste au début de la première année de recherche, à la fin de la quatrième année à l'École Normale Supérieure. C'est le premier contact avec la recherche et on

regarde un peu si ce genre de travail nous plaît. À ce moment-là, on avait des discussions tous les mois avec un autre groupe (dont Jean-Loup Puget par exemple) qui calculait les rayons gamma d'annihilation. Ils regardaient si c'était supérieur à ce qu'on observe et c'était juste à la limite. Et avec ça, on a fini par éliminer le modèle. Ce premier contact avec la recherche m'a beaucoup plu, donc j'ai voulu continuer.

Et puis Pierre Encrenaz m'a proposé un poste d'assistance temporaire, et il s'est intéressé alors (à la fin des années 70) aux molécules des milieux interstellaires. On a découvert à cette époque que ce milieu qu'on croyait complètement vide est en fait plein de molécules. C'est très dilué, il y a peut-être une, deux ou trois particules par centimètre cube au lieu des 10^{23} qu'on a ici. Donc c'est un vide très poussé, et pourtant, il y a plein de molécules. Comment les atomes se rencontrent pour faire des molécules ? En fait, c'est parce qu'on a des millions d'années pour attendre de les former. Et puis il y a aussi des ions, qui permettent de passer la barrière d'activation.

On a détecté d'abord la molécule CO, la plus simple. Mais on a aussi détecté de l'acétone par exemple. On va même jusqu'à chercher des acides aminés, comme la glycine dans les années 90. Dans les nébuleuses proches, on arrive même à de la confusion et du bruit tellement il y a de molécules.

« On a aussi détecté des molécules très longues, avec treize atomes de carbone, ou même cinquante. Tout ça est dans l'espace interstellaire. »

ΦNES : *Vous avez fait ça par spectroscopie ?*

F.C. : Oui, avec un télescope de 30 mètres. En spectroscopie, on a cherché les 100 raies de la glycine et on en a trouvé 80. Mais ça ne suffisait pas : 20 autres n'étaient pas là, donc ce n'était pas ça. Aujourd'hui, on a vu la glycine dans les météorites, dans la comète Tchouri aussi. Donc on a cherché des précurseurs de la glycine dans le milieu interstellaire, et on en a vu. En fait, on pense que tous ces acides aminés qui sont les précurseurs de la vie sont dans le milieu interstellaire.

ΦNES : *Vous faites toujours ça en ce moment dans vos recherches ?*

F.C. : Cela a un peu évolué parce qu'au début on cherchait toutes les molécules (on en a 120), et ensuite on les a cherchées dans les galaxies un peu plus lointaines. La première chose qu'on a faite, c'est d'abord dans la Voie lactée et dans Andromède, qui est la galaxie spirale la plus proche. Maintenant, on est de plus en plus loin, donc on arrive à remonter jusqu'au Big Bang, puisqu'on voit les galaxies telles qu'elles étaient lorsqu'elles ont envoyé leurs premiers photons, ce qui est très précieux à plusieurs titres.

Par exemple, on voudrait savoir si dans l'Univers, la constante de gravitation et la vitesse de la lumière ont varié en fonction de l'espace et du temps. Et là, on a des molécules qui dépendent de la constante de structure fine de façon différente. Donc en les comparant relativement on a pu montrer qu'il n'y avait aucune variation des constantes fondamentales jusqu'au Big Bang. Dans l'espace et le temps, on a 10^{-7} de précision sur la variation des constantes. Ça, ça fait quand même un bon jalon parce qu'il y a beaucoup de modèles un peu exotiques pour expliquer la matière noire qui font changer les constantes et en fait, on élimine ce type de modèle.

On regarde toujours les molécules, mais beaucoup plus loin maintenant. Ces molécules nous servent, maintenant qu'on les a découvertes (on n'en découvre pas de nouvelles), à tester la formation d'étoiles dans les galaxies lointaines. Comment ça se passe 200 millions d'années après le Big Bang ? Est-ce qu'on fait autant d'étoiles ? Est-ce qu'elles sont différentes ? Pour tout ça, c'est utile de regarder ces molécules.

ΦNES : *Est-ce que vous pourriez décrire votre journée typique de travail ?*

F.C. : En fait, au début, je regarde surtout ce que font les autres. Tous les matins, il y a dans les archives une centaine de papiers en astrophysique à l'international. Je regarde au moins les titres et les abstracts, et puis quelques papiers qui m'intéressent. C'est essentiel de savoir ce que font les autres, d'abord pour donner des idées, mais aussi pour ne pas refaire la même chose et essayer d'aller dans des zones qui ne sont pas travaillées. Ensuite, il y a énormément de choses qui me tombent dessus parce qu'on fait beaucoup de publications en même temps.

ΦNES : *Combien de publications avez-vous à peu près en parallèle ?*

F.C. : Entre dix ou quinze. On le fait avec des collaborations internationales, donc très souvent il y a les articles qui arrivent, qui ont été relus par d'autres, puis qu'on doit relire, etc. Donc j'ai une activité d'écriture et de lecture de papiers, et puis une activité de simulation numérique : lorsqu'on a une idée, on veut d'abord la tester de façon numérique et ensuite on peut essayer de vérifier sur les observations.

Il faut donc aussi faire des demandes de temps de télescope. Cela nous aide à un peu préciser notre recherche : qu'est-ce qu'on veut faire ? Es-ce que c'est faisable ? Qu'est-ce qu'on va regarder comme objet pour vérifier cette théorie ? Cette demande de temps est très importante et on le fait sous la pression. Et ensuite, on a seulement un an de propriété sur les données donc il faut se dépêcher d'en faire un papier.

ΦNES : *Est-ce que vous traitez vous-même les données récoltées ou est-ce que c'est plutôt les doctorants ?*

F.C. : Les deux. "Nous-même", c'est un petit groupe. Je fais beaucoup de réduction sur l'interféromètre de NOEMA, qui est le pendant du 30 mètres mais en France, près de Grenoble. On a en effet beaucoup de doctorants et de post-docs qu'on accompagne pour prendre en main la technique et la réduction des données.

ΦNES : *Et d'ailleurs, pour l'enseignement, comment ça se passe au Collège de France ?*

F.C. : On fait les cours sur deux mois, et c'est un enseignement qui demande beaucoup de temps, parce qu'il faut refaire quelque chose de nouveau tous les ans. Et donc ça nous force un peu à lire beaucoup de bibliographies. On commence en général sur le sujet qu'on connaît très bien, et ensuite on sort un peu de son domaine. C'est très intéressant parce qu'on apprend beaucoup de choses. Mais c'est vrai que pendant ces deux mois, c'est assez intense puisqu'il faut à la fois faire la recherche et l'enseignement.

ΦNES : *On voudrait passer à une partie un peu plus orientée sur le fait d'être une femme en sciences. Avez-vous déjà ressenti des différences de traitement dans votre travail ou dans votre carrière en général, vis-à-vis du fait que vous soyez une femme ?*

F.C. : En fait, au début, on ne se rend compte de rien du tout.

L'astrophysique, en France en tout cas et dans les pays latins, c'est à peu près 30% de femmes, donc ce n'est pas horrible. C'est beaucoup plus horrible dans les pays anglo-saxons, où il n'y en avait que 10% à l'époque. On n'avait pas l'impression d'être particulière, on faisait de la recherche comme tout le monde. Un peu plus tard, lorsqu'il s'agit d'avoir des responsabilités ou bien des financements, on voit qu'il y a peut-être un peu de discrimination, mais je n'en ai pas beaucoup ressenti.

Par exemple, il y a des appels d'offres, et on répond aux appels d'offres. On pense qu'en effet il y a des stéréotypes. On pense qu'elle ne sera pas capable de faire tout ce qu'elle a dit dans la demande, alors que pour un homme on pense qu'il en sera capable. Donc actuellement, on s'en rend compte un peu ça et là.

Il y a beaucoup de demandes anonymisées, même sur les télescopes. C'est juste un petit peu gênant aussi parce que lorsqu'on est dans le comité du programme, on aime bien savoir quel est le groupe qui demande du temps pour faire ceci ou cela. C'est encore plus gênant parce que lorsque quelqu'un demande de faire une certaine galaxie, par exemple avec une certaine idée, il est très intéressant de savoir tout ce qu'ils ont

fait avant. Et cette anonymisation n'aide pas le jugement. Et pourtant, c'est comme ça que ça se passe aujourd'hui.

ΦNES : *Est-ce que vous trouvez qu'il y a eu des améliorations ou des régressions sur la parité ?*

F.C. : Alors pour la parité, il y a beaucoup d'efforts en ce moment, et même depuis quelques années. On s'attache à avoir la parité dans les comités, etc. Et ça, c'est lourd, parce que s'il y a 30% de femmes et qu'on s'attache à avoir au moins 50% de femmes dans les comités, alors toutes les femmes se retrouvent dans ces comités. Et elles sont obligées de faire des charges administratives, et donc moins de recherche. Finalement, ça produit l'effet inverse de ce qu'on voulait. Il vaudrait mieux qu'il n'y ait pas la parité dans les comités, mais seulement quelque chose de proportionnel au vivier qu'il y a.

ΦNES : *En terme de recrutement, est ce que vous avez l'impression que le nombre de femmes a plutôt changé ?*

F.C. : Quand j'ai démarré, c'était 30%, mais maintenant je crois que ça diminue un petit peu. Mais c'est dû au fait qu'on trouve un poste permanent plus tard. Avant, on pouvait en trouver un après la thèse ou au bout de deux ans, mais maintenant la moyenne c'est 6 ans après la thèse. Certains, certaines surtout, abandonnent pour essayer de s'installer, fonder une famille, etc. Et il y a beaucoup plus de femmes qui abandonnent que d'hommes. Donc on a essayé de contrer ça. Au CNRS, ils ont prévu des postes qu'on appelle des chaires junior, où on promet que, au bout de quelques années, ce sera permanent si tout se passe bien. Donc on a une certaine garantie. Peut être qu'avec ça les filles n'abandonneront pas.

ΦNES : *Vous avez mentionné un peu plus tôt le fait que vous aviez fait l'École Normale, et donc à l'époque, c'était l'École Normale de Sèvres. Est-ce que vous avez un point de vue en particulier sur la non mixité pendant vos études ? Est-ce que ça vous a apporté quelque chose, ou est-ce que ça vous a plutôt desservi ?*

F.C. : En fait, on partageait presque tous les cours à Ulm. Et on partageait les TDs. Donc finalement, on s'est pas tellement aperçu d'une grande différence. Et après le concours est devenu mixte, et en effet il y a beaucoup moins de filles qui l'ont eu. Certains étaient pour, certains étaient contre. Je ne sais pas trop. Est-ce que ça s'est rattrapé maintenant ?

ΦNES : *Non (rire dépité). Est-ce que vous auriez des suggestions d'actions potentielles par rapport à ce que vous voyez actuellement, pour encourager plus de mixité dans le milieu ?*

F.C. : Je pense que le gros problème, c'est l'éducation. Même en primaire, on a des préjugés. Il y a des livres qui montrent des rôles différents pour les femmes et pour les hommes. Dans la petite enfance, ces préjugés se mettent très tôt en place et même les filles sont déformées par ça. C'est ça qui serait une action à faire : changer au moins les enseignants, qui peut-être propagent ces idées sans le savoir ni sans trop en être conscients. Et puis les livres d'école, et les familles, évidemment. Je pense que déjà dans la famille, on projette des métiers différents pour les filles et les garçons dès le plus jeune âge. En petite enfance, il y a beaucoup de choses à faire. Mais ça va être difficile.

ΦNES : *Est ce que vous auriez des conseils pour une jeune fille qui serait intéressée par les sciences ?*

F.C. : Oui, il faut absolument les encourager à faire des sciences. J'ai l'impression qu'elles sont un peu découragées en se disant que ce n'est pas pour elles. Justement, Il faut que ce soit peut-être dans la petite enfance où on se projette dans des métiers qui sont genrés. Et en fait, il n'y a pas de métiers genrés. Il faut absolument combattre ce préjugé. Si elle demande des conseils, il faut qu'elle continue.

« Si elle pense que c'est sa vocation, il ne faut surtout pas être arrêtée par quoi que ce soit. »

ΦNES : *Est ce que vous pensez que c'est plus compliqué d'être une femme dans la recherche et qu'est ce que ça change vraiment ?*

F.C. : Moi, je pense que c'est pas très compliqué parce qu'une fois qu'on se libère de ses préjugés, à ce moment-là je pense qu'on est à égalité. Nos collègues nous voient de la même façon, il n'y a pas vraiment de difficulté. Il faut avoir confiance en soi. Les filles n'ont pas assez confiance, justement à cause de tous ces préjugés. Au bout d'un certain temps, on prend l'habitude d'avoir confiance. Au début, on a peur, mais ensuite on est confiant. Mais je pense qu'il n'y a aucune difficulté particulière. Il faut le croire pour ne pas être perturbé par autre chose.

ΦNES : *Un problème qu'on rencontre quand on va tenter de discuter avec des lycéens et des lycéennes - dans un environnement où il y a encore globalement la parité - c'est que c'est dur pour eux de se rendre compte des problèmes qui peuvent arriver plus tard dans leurs études. On a tendance à s'en rendre compte que lorsque c'est trop tard, lorsqu'il n'y a presque plus de filles. Comment vous aborderiez la question de prendre le problème suffisamment tôt dans l'enfance tout en rendant ça concret pour eux ?*

F.C. : En fait, on s'aperçoit qu'à l'université, quand on voit ceux qui choisissent les sciences, c'est plutôt 50/50. C'est plutôt après que ça se sépare, quand il faut choisir un métier. Les filles, on a remarqué qu'elles étaient bonnes un peu en tout, en sciences et en lettres. Finalement, elles choisissent les lettres parce que les garçons seraient bons en sciences et pas en lettres. Donc c'est elles qui choisissent, par ces préjugés. Mais on ne peut pas choisir à leur place.

ΦNES : *Peut-être qu'il y a un attrait pour les lettres lié au fait qu'il y a plus de représentation, et du coup on se sent plus à l'aise, on se voit plus facilement parler de ça en tant que femme, alors qu'en sciences on ne voit que des hommes parler.*

F.C. : Justement, il n'y a pas que des hommes qui parlent; parce que quand on regarde les études littéraires, ils sont minoritaires. Donc pourquoi est-ce que le problème n'est pas symétrique? Il y a aussi la profession médicale, il y a beaucoup plus d'infirmières par exemple. Dans les petites classes primaires et secondaires, ce sont surtout des femmes. Donc on voit qu'il y a des métiers qui sont genrés. Mais je ne vois pas pourquoi, il n'y a aucune raison.

ΦNES : *C'est une question de niveau d'études aussi. Par exemple, dans les métiers de la santé, les aides soignant.e.s, c'est en général une majorité de femmes. Par contre, plus on monte dans les professions médicales qui sont dures à atteindre, plus on voit d'hommes, par exemple les chirurgiens, la cardiologie, etc.*

F.C. : Pourquoi? Parce qu'elles n'ont pas envie de continuer leurs études, est-ce qu'elles abandonnent plus vite?

ΦNES : *En général, c'est un peu l'idée que c'est trop compétitif, avec par exemple le fait que la plupart des filles vont à la fac et pas en prépa.*

F.C. : Donc je pense que c'est une question de confiance en soi. Il faut avoir confiance et continuer. Je pense qu'il faut qu'il y ait beaucoup de femmes qui soient à un haut niveau parce que ça permet aux jeunes de s'identifier et de les encourager.

ΦNES : *Merci beaucoup Françoise Combes!*

– **Propos recueillis par Mathilde Mioche, Mélanie Labiausse, Mathis Mallet, Azeline Effertz et Victor Lequin de l'association PhysicienNES**
Mise en forme par Juliette Savoye

Mark Srednicki : fixing a hole (the physicist's way)

Okay, perhaps it wouldn't fix your leaky roof. But Mark Srednicki's way of fixing a hole is boast-worthy in its own right : a physicist at University of California, Santa Barbara, he gained recognition for his contributions to the "Eigenstate Thermalization Hypothesis", his answer to a problem that had bugged him when he was tasked with teaching statistical mechanics and that everybody seemed only too keen to ignore. This blatant gap in the foundations of stat mech consists in explaining from a dynamical point of view just why a system should follow the predictions of Boltzmann's distribution.

His take on the question, resulting in a simple quantum chaos model, was the subject of a recent Colloquium at LPENS and gave us the excuse to have a chat with him, revealing a diverse career led by curiosity and rigor : have a look.

NPR : *Could you describe which topics you studied first, and how you evolved to other subjects?*

M.S. : I started studying elementary particle theory. My Ph.D. was in 1980, and at the time, the Standard Model had

just been fully established in the late seventies, punctuated by the experimental discovery of the W particle at CERN in 1983. And at the time, absolutely no one (and it's still true, essentially) thought that the standard model is the last word in particle physics. It's got something like twenty parameters that are determined by something else that we don't understand and it includes probably the simplest possible version of spontaneous symmetry breaking. And everybody thought, yeah, that's too simple. It's got to be more complicated. And this greater complication will help us understand the parameters that we don't understand.

So there were a lot of theoretical proposals for what it should look like, including so-called supersymmetry, which predicted that for every particle we've already discovered, there's an as yet undiscovered particle that differs in spin by one half. I was an early adopter of the idea that this was going to be relevant for physics, so I worked a lot on supersymmetric models. Another problem which was just emerging at the time, is that there is dark matter in the universe. This is now extremely well-established and we don't know what it is. That it was one of these new particles that would come out of these models seemed very likely, so I did a lot of work on that.

But by the mid nineties, none of these things beyond the Standard Model were showing up. I started to get worried

that the Standard Model might actually turn out to be right, that all this wonderful stuff that we theorists had imagined was not actually there. And then by coincidence, I got assigned to teach statistical mechanics and decided I didn't understand statistical mechanics, then went on this project to find a version of it that I thought was plausible. And that led me into this topic of quantum chaos theory, which was an established but relatively small community of mathematical physicists. I just thought it was very interesting stuff, and meanwhile I had sort of run out of ideas in particle physics, so I started working on quantum chaos.

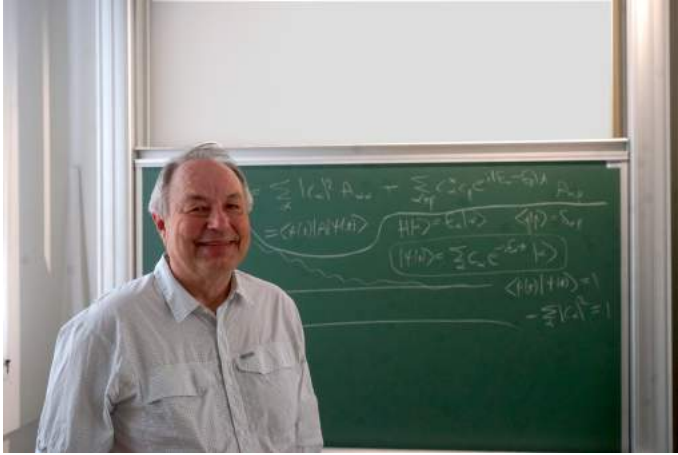


Figure 6 – Mark Srednicki

NPR : *How was the switch from one topic, which is studied by a lot of people, borderline popular culture, to something which is almost nit picking?*

M.S. : To me that didn't matter. It was just whatever was interesting. You know, unfortunately my premonition in the mid nineties that particle physics was not going to find a bunch of stuff has so far turned out to be correct because 30 years later we built the LHC, which is a wonderful machine and a beautiful experiment, and many thousands of physicists have put many hundreds of thousands of hours working on it. But everything they find is consistent with the standard model, including the discovery of the actual Higgs particle in 2012.

So this very simple version of the Higgs mechanism is experimentally correct. And we have not (we meaning humanity and all the people working on the experiments) found anything beyond the standard model. The good part is, wow, we humans were smart enough to figure that out. The bad part is, well, now what? Because we still don't know what sets the twenty parameters. Personally, I believe that quantum gravity does require a string theory or something very much like that. But they don't make contact with experiments, so. If I had a great idea I would work on that, but I don't so I

found this other niche and I found it interesting. And then just about the time when I was ready to stop working on it, some atomic physics experiments revived the field and now there's a fairly large community of condensed matter and atomic physicists who work on this, with a strong interplay of theory and experiment.

NPR : *How do you think that new discoveries and filling out the holes should trickle down into basic teaching? You mentioned that you didn't want to write a book about your work in quantum chaos.*

M.S. : I think it will trickle down eventually but this takes a long time.

I've already written a book, on quantum field theory, which is my own thing of particle physics. And I had some pedagogical ideas there about what I thought was a better way to present the subject. And I had had in the back of my mind for decades to write a book using those pedagogical ideas. And so I did, eventually. Writing a textbook is a lot of work : you need homework problems, you need solutions to the homework problems, you need to explain lots of stuff... So I did it once and it was long : it took six or seven years. My idea was, All right, I'm just going to start typing and see how it goes. I always gave myself the option to quit at any time. But I just kept going. It got hard towards the end because towards the end there was more advanced stuff where I didn't really feel I had anything particularly original to say. But to make the book complete it had to be there. So I got to be a bit of a slog at the end, but I pushed it through. Well, I did that once and I'm not going to do it again.

I would be happy to write a short book on these thermalization ideas, but that's not a textbook on stat mech. A textbook on stat mech will be 95% current stat mech books plus this other stuff, maybe 10% I don't know. I just don't have good pedagogical ideas for how to write a complete stat mech book other than somebody should include this stuff.

You know, I do think it's an interesting sociology of science thing. First of all, that this gap was there. I talked to lots of people who all said, oh, yeah, we were confused. Then they kind of gave up and. How did that persist for so long? It persisted because the techniques do give the correct answer. So it got sidelined. I do find it surprising because I don't think it's all that complicated. Anybody could have done it.

NPR : *Do you think it's kind of a unique position of stat mech or do you think there's lots of little holes that wait to be filled all throughout physics?*

M.S. : I think it's pretty unique, especially something this big. How could something where basically everyone believes they're confused not get solved for decades? I don't think there are a lot of things like that. Of course, every field has

bunches of stuff that's not understood, but most of it is on the research frontier.

I don't think it's really comparable, but renormalization theory in quantum field theory is something that people were confused about for a long time. But it wasn't a confusion where textbooks asserted that you shouldn't be confused because of this hand-waving argument. Everybody was confused and people worried about whether it was really a legitimate procedure. And then Ken Wilson came up with this other way of thinking about it in terms of real physical cutoffs like a lattice, and this really clarified it in a powerful way. That's a more normal thing where there's some really frontier research thing that people are confused about, which happens all the time. Things where bad arguments were in textbooks? I think that's rare. I hope it's rare. I mean, I haven't noticed any other really bad arguments.

NPR : *What motivated you to do physics when you were young, and how does that compare to now?*

M.S. : I had always wanted to understand things, and I was fascinated about things like the planets. I remember I had some little book about the planets and the number of moons they had and all this. I thought this was really fascinating. I was born in 1955, so I was a child in the sixties when the U.S. space program was a big thing. Astronauts were going to the moon, and this was tremendously exciting. I read a lot of science fiction. So it was natural to want to go into science. I liked math a lot. And then I discovered mathematicians had to prove things and that seemed hard.

I grew up in a small town in the state of Ohio, which is a midwestern state. And I went to a school where not a lot of people went to college at all. But by some accident, I ended up at Cornell. And this was this was the most life changing experience because now I was surrounded by all these smart people who had mostly gone to much better schools than I had gone to and knew all this stuff. And I when I first got there, I was very intimidated. But then I found out, well, it's not that hard to learn.

NPR : *Did it drive you to to push yourself further?*

M.S. : At first I thought, oh okay, all these people are much smarter than me, I hope I don't flunk out. And then I found out, I was doing just as well on tests as they were. It was just that they had gone to schools that were better and had taught them more. And so they would say, Oh, don't you know this? Didn't you learn this? But now I was in a much more intellectual environment. Everybody was interested in all kinds of different things.

I went to engineering school because I thought that was sort of sciencey and I would probably be able to get a job as

an engineer better than whatever a scientist was. Of course, engineers take basic physics, and I realized that this is the kind of stuff I like. And then I wanted to do theoretical particle physics, which seemed like exciting stuff. It was quite a change. Well, actually, I have a degree in engineering. But I couldn't engineer anything.

NPR : *Is your relation to physics curiosity driven?*

M.S. : Yeah. And I'm just enormously grateful to have had the opportunity to do this. Also, it's somewhat unusual to to have such a dramatic field change and. It's now changed, unfortunately, but the U.S. grant system was supportive of that. At the time, as long as you were doing a work that was reviewed as being good, they didn't care too much about exactly what it was. Now they care a lot more. There's a lot more bureaucracy about, this person should be in this box and this person should be in this box. I've had many bits of incredible good luck along my career, and I'm very grateful.

NPR : *You wrote a couple of papers on Bayesian points of view, for instance questions relating to whether humans are typical observers in the universe and related ideas. How did you include this in your experience as a physicist in your life? Where did the idea come from and how did it contrast to the other kinds of research?*

M.S. : I discovered Bayesian statistics because I was working on a dark matter problem related to dark matter accumulating in the sun. It can scatter when it hits it and then gets gravitationally trapped in the sun. So there were experiments [to try and detect it] that I was trying to understand but these are very low statistics experiments [and the frequentist point of view made no sense].

It's another one of these things that annoyed me, I said, This is crazy. This cannot be the right way to think about this. And I discovered Bayesian statistics, which did better is because it has a mechanism for putting in the prior information. I and decided this is a much better way to think about probability. That's how I got started on that.

I'll tell you an anecdote. After I discovered Bayesian statistics, I was talking to a nuclear physics experimentalist in my department, and I was telling him how wonderful it is, and how in this low statistics situation, you got a sensible answer and that was just great. And he said, if how you do the statistics matters, you should just get more data. There's a lot of truth in this, right? If how you do the statistics matter you probably don't have enough data to actually conclude. In some sense it doesn't really matter, but I do think Bayesian statistics is more philosophically coherent and sensible, and I like it for that reason, and I also like its flexibility.

NPR : *One point that came up several times during the discussion is the links between what you taught and what you did as research. How important do you think teaching is in research? Do students challenge you?*

M.S. : I think it's very important.

Specific students will ask questions that are challenging. I very often get questions where I don't know the answer, I have to think about it. And, it's important to science, that it get communicated both broadly to the public, and to the next generation of scientists. You don't really understand something until you've tried to teach it. You can think you understand it and then you want to explain it, and then, Oh, wait a minute.

When I was writing my book, I very often had the experience of, Oh, all right, now I will write about this and I will explain it, and then I go ermm. Do I actually understand this? So, yeah, science is huge and even some little piece of it that each of us works on is huge. We don't have the whole thing in our heads, so I think it's important for science to progress and to continue that everybody who's doing it becomes as good as possible at communicating it.

NPR : *In the preface of your book, you advise to read it with other people. Why?*

M.S. : I think it's very easy to get stuck in little loops, and this is true in lots of areas of life. You know, other people are the best way to get out of it.

NPR : *Are you generally satisfied with the way we teach today?*

M.S. : I think so. I don't know if this is in Europe so much in the U.S. there's a big thing about physics education, that teaching with the thousand year old method of the professor standing in front of a class is not optimal and that students should be put in small groups and ask questions. I think that probably does better. And certainly for people who are not invested in it in the sense that they want to go into the field. People are just there because that was a required class or whatever. Maybe that means the class shouldn't be required, I don't know.

I don't see anything that needs to be corrected. Introductory physics classes you can have hundreds of students. And this, I'm pretty sure, doesn't work right. One thing I think

we've all learned and that all you younger people should be grateful for is that we really do need in-person instruction. In the U.S., like ten years ago, there was this movement that everything was going to be online and there was something called MOOCs*.

There was a lot of pressure from like the governor of California at the time. He wanted the whole University of California to become online. And then in San Jose State University, which is smaller they decided they would teach calculus online and they were serious about it. They set it all up and they had something like a 90% failure rate. And this really put a dent in the notion that this was going to work.

And now we have, however many years of instruction over Zoom during the COVID pandemic and everybody hated it. So, yes, good for you guys because, you don't want to be in a world where we only need ten physicists because they're all teaching a million people.

NPR : *To end on a classical question, do you have any favorite theorem or equations?*

M.S. : The Riemann hypothesis is a fascinating topic. This is something I've actually written a couple of papers about it because physicists think they can do something - that's not true, but we like to pretend. If you've never read Riemann's paper, there's an English version translated from German that's like nine pages long in modern preprint style. And it's really interesting. It's just amazing what he's able to do. He wrote this paper because he was inducted into some honorary society and he says, oh, well, thank you for this great honor, here's a very modest contribution... completely revolutionized number theory.

Modern math papers are not very readable, they're all you know lemma and so on but his paper reads like a theoretical physics paper. So he says, Oh, all right, So I'm going to mess around with that like this. And that didn't work. So let me try this. It's a really fun paper to read and it's just a very profound piece of math, which ends up in a conjecture that still is unproved, but would be extremely important and may have a physics connection, which is that an attempt to prove it is to find a Hamiltonian operator whose eigenvalues are the imaginary parts of the Riemann zeros.

NPR : *Thanks a lot!*

– **propos recueillis par Esteban Foucher et Victor Lequin**

* Massive open online course

SIR, I HAVE A QUESTION**New problems**

Were you just about to contribute questions to the next issue of the NPR but suddenly ran out of ideas? Here, let us help you :

- I** : Why do the Jardin des Plantes greenhouse window panes have a green or pink tint depending on the angle they are looked at?
- II** : Suppose a particle follows a Langevin equation and one measures its trajectory with some error. Would you be able to tell the Langevin noise and the measurement noise apart?
- III** : Consider a large and deep river with wind blowing parallel to the water's velocity. One might then observe regularly spaced lines of dust or foam parallel to this direction. Why?
- IV** : If someone runs while listening to music, they may lock

their step to match the beat's frequency if the two are close enough (literally a one track mind). Make a simple model of this phenomenon. Are DJs right that bass makes you move?

- V** : How fast could a human being run?
- VI** : A laser in a cylindrical Fabry-Pérot cavity makes a slight angle with the axis of the cavity. What shape might the beam's cross-section have?
- VII** : This Tom Scott video <https://youtu.be/evV05QeSjAw> mentions the fact that holes in emmental need impurities to nucleate. Propose a model for how this happens during fermentation.
- VIII** : If a gas of photons is adiabatically compressed or expanded, how does its wavelength distribution change? Finish this derivation of Wien's law.
- IX** : You do not want to add drops of water to a hot pan of oil. That said, how high would the resulting droplets fly?
- X** : Wet clothes are harder to take off because they are "sticky". Can you quantify just how "sticky" they get?

MYSTERY PHOTO

Solution of N_{25}



Figure 7 – Photo of N_{25}

These mysterious shapes are in fact ice crystals grown from salty water in a temperature gradient! The salty liquid water is dyed in red with Rhodamine and the ice crystals appear in black on the picture.

When the salty water solidifies into ice, the impurities like the salt and the dye get expelled from the ice body. This results in the formation of a very salty liquid layer near the ice that slowly diffuses to the bulk water to homogenize the salt concentration. Here the crystals are grown quickly in an horizontal temperature gradient (from the left to the right). The very salty water doesn't have time to diffuse away and will get trapped inside the ice crystals. These inclusions are highly concentrated in salt and will therefore stay liquid thanks to the freezing point depression. This can create magnificent patterns!

This picture was taken on a confocal microscope in the lab *Soft and Living Materials* at ETH Zürich (Switzerland).

– Oriane Devigne

Photo of N_{26}

Well isn't it relaxing to look at the sky and observe the beautiful phenomena that occur in it? That is, until you start to try to explain them...



Figure 8 – Mystery photo of N_{26}

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank all who contributed and supported us. Special thanks to Noé Clavier and Jean-François Allemand for their collaboration with the carbon footprint, as well as Pierre-François Cohadon for his judicious recommendations of fascinating people to interview. And last, but nowhere near least : thank you for reading!

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

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

(The Editorial Board)

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

<https://normalephysicsreview.netlify.app>

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