



Normale
Physics Review

NPR

École normale
supérieure

— Fights Bohr-dom —

Édito N₃₀ : La NPR fait sa rentrée !

Cher.es lecteur.ices de la NPR, tout le comité éditorial se joint à moi pour vous souhaiter une belle et heureuse année 2024 de la physique et vous présenter nos meilleurs voeux. Les examens du premier semestre sont terminés, nos agrégatifs ont eux aussi affronté leurs épreuves écrites, nous sommes derrière eux !

Pour ce premier numéro de 2024, nous reviendrons sur une belle initiative de l'association Toutes En SciENS de mise en avant des femmes scientifiques sur Wikipedia, nous les félicitons chaleureusement ! Nous avons eu la chance de discuter avec la cosmologue Danièle Steer du laboratoire astroparticule et cosmologie, qui nous présentera ses recherches, son parcours et plus encore. Nous vous parlerons aussi des neutrinos, particules élémentaires singulières, de leur importance et des moyens de les détecter. Enfin, nous discuterons de politique de la recherche. Comme d'habitude, la rubrique « Sir, I have a question » saura piquer votre curiosité tout comme notre photo mystère toute de couleurs parée.

Nous vous souhaitons une très bonne lecture !

Lukas Péron pour l'équipe de rédaction

SOMMAIRE

Class life	2
Wikithon sur les femmes scientifiques	2
Écrits de l'agreg	2
Calendrier	3
Sondage numérique	3
Physicist's life	4
Danièle Steer : théoricienne de la cosmologie	4
Neutrinos et reconstruction de traces	7
Chronique EnSR	9
Coupes budgétaires : un crise de la représentation scientifique auprès du gouvernement?	9
La naissance de la politique scientifique française pendant la Grande Guerre	10
Sir, I have a question	11
Mystery photo	12
Solution of N ₂₉	12
Photo of N ₃₀	12
Acknowledgements	



normalephysicsreview.
netlify.app



facebook.com/
NormalePhysicsReview

CLASS LIFE

Wikithon sur les femmes scientifiques

Samedi 20 janvier 2024, de 10h à 16h, l'association Toutes En SciENS, anciennement PhysicienNES, a organisé son premier Wikithon centré autour des femmes en sciences.

En 2020, les femmes représentent 18% des biographies de Wikipédia en français. Chez les scientifiques, ce chiffre est encore plus faible. De plus, ces biographies sont biaisées et moins visibles que les biographies d'hommes scientifiques. [cf. la page "Biais de genre sur Wikipedia"].

En ce beau samedi, 8 élèves des départements de physique (4), de maths (2), d'informatique (1) et d'arts (1) se sont donc retrouvés avec Pierre-François Cohadon en salle Conf IV pour s'initier à la rédaction sur Wikipédia et traduire depuis l'anglais des pages de femmes scientifiques reconnues.

Cela leur a permis de découvrir de nombreux parcours de femmes dans le monde de la recherche scientifique. Requinqué.e.s par un petit déjeuner et de délicieuses pizzas, iels ont édité pas moins de 20 pages! Une participante témoigne : « Nous étions très content.e.s de l'expérience et avons appris beaucoup de choses sur le fonctionnement de Wikipédia en nous entraînant. »

Voici quelques exemples de pages éditées : Karen Miga, Svitlana Krakovska, Adi Utarini, Meaghan Kall, Svetlana Mojsov. D'après l'historique des pages éditées, elles ont été consultées de nombreuses fois depuis leur traduction.

Cette journée a été réalisée en amont de la semaine Wikithon Femmes et Sciences encadrée par l'association Les Sans PagEs qui a eue lieu à l'ENS du 5 au 9 février. Cette semaine Wikithon Femmes et Sciences avait été organisée par les scientifiques Hélène Rouby, Clémentine Fourier et Marie Lods. Elle connût également un grand succès.

UnE expérience enrichissantE à refairE!



Figure 1 – 3 participant.e.s heureux.es au Wikithon

Écrits de l'agreg

Du 20 au 22 février, nos vaillants agrégatifs en physique-chimie ont passé les écrits de l'agreg à la Maison des Examens à la Cité Universitaire. 11 heures de physique et 5 heures de chimie plus tard, voici les réactions de deux candidats de la prépa agreg de Montrouge que la NPR a interviewés.

Commençons par le témoignage du premier candidat qui comme vous le verrez est un grand fan de méca flu' :

« **Mardi, 8h55.** Le chef du centre d'examen tente de donner les consignes, mais les haut-parleurs de la salle coupent un mot sur deux. Au moins, ça permet de faire retomber un peu la pression pour les 77 personnes de la salle qui se préparent à passer 5 heures sur un sujet (j'espère de méca' flu). Bon, au moins y'avait quelques questions là-dessus, c'est pas si mal.

Mercredi, 8h58. Pas de haut-parleurs, la cheffe de salle nous donne directement les consignes de vive voix. Il y a moins de monde dans la salle, la chimie semble avoir fait fuir quelques personnes. Tout le monde est tombé d'accord, ce sujet était infâme.

Judi, 8h56. Tiens, les haut-parleurs fonctionnent! Je m'accroche encore à l'espoir de voir de la méca' flu', pour ce problème de 6 heures. 12 ans que c'était pas tombé! 12 ans, et je l'avais dit! Et tout ça est terminé, derrière nous, il est temps de prendre des vacances bien mérité, avant de ré-attaquer pour les oraux. »

Après une longue absence, c'est donc un retour en fanfare de l'hydro cette année avec une compo de physique assez osée sur la MHD et un problème sur la vorticité dans les fluides et en quantique. En chimie les candidat.e.s ont planché sur l'or comme catalyseur.

Un deuxième participant nous confie sa joie que cela soit fini. Il a apprécié l'ambiance et ça a été l'occasion de voir plein d'autres candidat.e.s, de la prépa agreg de Saclay mais aussi des profs en début de carrière. De son côté, « pas trop de surprises, ni bonnes ni mauvaises! C'est sympa de passer des épreuves, on a un rythme assez light où on fait du sport et des activités pour se changer les idées. »

La petite anecdote : « Un jour j'ai oublié ma trousse et j'ai demandé des stylos à plein de gens. Après j'ai dû rendre les stylos, et ça a été l'occasion de rencontrer plein de personnes! C'était très intéressant de discuter avec un prof en début de carrière qui n'a que quelques heures par semaine à consacrer aux révisions d'agreg. C'est plus compliqué pour eux de performer aussi bien que les élèves de prépa agreg. Passer l'agreg devient même un rituel d'année en année pour certains d'entre eux. »

La rédaction leur souhaite bon courage pour la préparation aux oraux!

Calendrier

21 février, décret du Gouvernement français : annulation de crédits de l'Etat dont environ neuf cents millions d'euros initialement prévus pour la recherche et l'enseignement supérieur. Par ordre décroissant, les trois plus grosses coupes sont : Recherches scientifiques et technologiques pluridisciplinaires (383 millions d'euros), la recherche spatiale (193 millions d'euros), la vie étudiante (125 millions d'euros).

22 février, Collège de France : Samantha Besson, professeur de droit international et titulaire de la Chaire Droit international des institutions, vient de débiter son cours Le droit international de la science le 22 février dernier. Les captations des enseignements et des séminaires seront disponibles sur le [portail du Collège de France](#). Naviguant entre les enjeux juridiques des nouvelles technologies, de l'IA aux biotechnologies, mais aussi face aux grandes crises et plus particulièrement la crise climatique, le cours porte l'ambition de questionner les concepts de droit à la science. Quel rôle pour les scientifiques dans les institutions internationales ?

29 février, Séminaire de la L3 : Lukas Péron aura la joie de venir vous présenter les projets de l'association pour 2024.

Ce mercredi 6 mars, 18h30, Table ronde "Femmes et Sciences : Pourquoi agir et comment?" : À l'ENS, au 24

rue Lhomond, en salle de la chiralité (salle historique de la bibliothèque des sciences) à 18h30. Pour en débiter : Charlotte Jacquemot (Directrice du Département études cognitives, ENS), Elisabeth Bouchaud (Physicienne, actrice et dramaturge), Fabienne Rosenwald (Conseillère maître, Cour Des Comptes), Thomas Breda (Professeur à l'École d'Économie de Paris et chercheur, CNRS) et Inna Grinis, (Stratégiste inflation, Citadel).

La discussion sera suivie d'un cocktail, pour prolonger les échanges.

Wikithon Les associations étudiantes Toutes en SciENS et Africana ENS organisent un Wikithon engagé samedi prochain (le 23 mars). Le principe ? Éditer des pages Wikipédia pour en combler les manques en ce qui concerne les femmes scientifiques, et particulièrement les femmes racisées. Vous apprendrez comment éditer Wikipédia, il y a fort à faire : recherche de sources, création de pages, enrichissement, traduction... Pas besoin de connaissances préalables, ni d'ailleurs sur le thème des femmes en sciences : la liste des sujets à traiter est toute prête. L'événement aura lieu en Conf IV (E244) de 9h30 à 17h environ, sentez vous libre de passer pour la durée que vous voulez, muni de votre ordinateur portable. Le petit-déjeuner et le déjeuner seront offerts par le département de physique et la Société Française de Physique.

Sondage numérique

Dans le cadre de son évolution, la Normale Physics Review lance un sondage (accessible par le QR code ci-dessous) afin de connaître quels sont les réseaux sociaux les plus utilisés par les étudiant.es, thésard.es, chercheurs.es... L'objectif est de recueillir suffisamment de résultats afin de nous permettre de savoir sur quels réseaux rendre active la NPR. Les données individuelles sont anonymes et ne seront pas diffusées en dehors du cadre de la Normale Physics Review.



Figure 2 – Lien vers notre sondage : <https://framaforms.org/sondage-pour-la-npr-1710448342>

PHYSICIST'S LIFE

Danièle Steer : théoricienne de la cosmologie

Danièle Steer est professeure à l'Université Paris Cité, dans le laboratoire AstroParticules et Cosmologie (APC). Elle s'apprête à rejoindre le groupe GRACES (GRAVitation and Cosmology at EnS) du LPENS, un nouveau groupe qui travaille sur la gravitation et la cosmologie primordiales.

L'association Toutes en SciENS (TeS) l'a interviewée en partenariat avec la NPR, pour discuter de ses recherches ainsi que de son parcours en tant que femme dans les sciences.



Figure 3 – Danièle Steer

TeS : *Pouvez-vous décrire brièvement vos recherches ?*

Danièle Steer : Il y a quatre forces fondamentales dans la nature : la force de gravitation, la force électromagnétique, la force faible et la force nucléaire. En électromagnétique, il y a des charges positives et des charges négatives, qui se compensent aux grandes échelles. Donc c'est la gravité qui régit la dynamique de l'Univers aux grandes échelles. On a testé la théorie de la relativité générale sur Terre, dans le système solaire, etc. donc on sait que cette théorie de la gravité fonctionne très bien. En cosmologie, on suppose que cette théorie est toujours valable et qu'elle décrit l'évolution de l'Univers sur les plus grandes échelles. Mais on n'est pas sûr que cela soit vrai, c'est une supposition. On suppose aussi que la relativité générale est valable près des trous noirs. Mes recherches portent donc sur la gravité : est-ce que la théorie d'Einstein est vraiment correcte sur ces très grandes échelles cosmologiques, ou très près des trous noirs ? Je m'intéresse donc à d'autres théories de la relativité, ainsi qu'à comment écrire ces nouvelles théories et comment les tester. Aujourd'hui, les tests que je trouve particulièrement intéressants

sont ceux avec les ondes gravitationnelles.

Les ondes gravitationnelles ont été observées expérimentalement pour la première fois de façon directe en 2015, avec des expériences d'interférométrie comme le projet LIGO/VIRGO. Je suis donc impliquée dans ces expériences-là, avec lesquelles on peut tester l'évolution de l'univers sur les plus grandes échelles et exclure certaines nouvelles théories.

TeS : *De quelles échelles spatiales parle-t-on ?*

D.S. : Il y a le système solaire, puis les échelles des galaxies, puis les échelles des clusters de galaxies ; et moi je travaille à une échelle encore plus grande. Ce qui me passionne tout particulièrement, ce sont les premiers instants de l'Univers primordial : après le Big Bang, on pense qu'il y a eu une phase d'expansion accélérée de l'Univers, qui s'appelle l'inflation. Tout ce qu'il se passe pendant cette phase là, qui met en jeu des échelles d'énergies bien au-delà de ce qu'on peut tester avec des accélérateurs de particules, cela crée des ondes gravitationnelles. Et ces ondes gravitationnelles, on peut les observer aujourd'hui. Donc on essaie de comprendre cette physique de très haute énergie sur de très hautes échelles : comme on n'est pas sûr que la relativité générale est encore valable, n'importe quelle observation peut être vraiment très intéressante.

« Aujourd'hui, observations et théories fonctionnent main dans la main. »

TeS : *A quels types de théories vous intéressez-vous ?*

D.S. : Dans la théorie d'Einstein, il y a une métrique dynamique, que l'on appelle $g_{\mu\nu}$ et qui peut se propager : ce sont les deux polarisations des ondes gravitationnelles. Cette métrique satisfait les équations d'Einstein $G_{\mu\nu} = T_{\mu\nu}$. Or il y a un théorème datant des années soixante-dix, le théorème de Lovelock, qui dit que si l'on veut rester à quatre dimensions et si l'on veut des équations locales avec des dérivées secondes de la métrique, alors l'unique théorie possible est la théorie d'Einstein.

Donc pour aller au-delà, on peut ajouter des dimensions supplémentaires, on peut aussi ajouter d'autres champs différents de la métrique. Ces théories comportant des champs gravitationnels supplémentaires m'ont beaucoup intéressée ; elles s'appellent les théories tenseur-scalaire. Avec Cédric Defayet, on avait proposé une théorie il y a une dizaine d'années, dont l'une des prédictions était que les ondes gravitationnelles ne se propageaient pas à la vitesse de la lumière. Depuis, on a observé que les ondes gravitationnelles se propageaient effectivement à la vitesse de la lumière, ou en tout cas très

proche : la différence relative mesurée étant de 10^{-15} ! Donc on voit que des observations récentes mettent des contraintes très fortes sur ce type de théories. Ainsi, aujourd'hui, observations et théories fonctionnent main dans la main. Il y a des contraintes expérimentales très intéressantes qui arrivent avec les ondes gravitationnelles, et ça motive énormément.

TeS : *Quel est votre rôle sur le projet LIGO/VIRGO ? Comment c'est de travailler avec une organisation aussi grande et complexe ?*

D.S. : LIGO/VIRGO, c'est une immense collaboration qui regroupe plusieurs milliers de personnes. Étant théoricienne, je ne suis jamais allée sur place. J'étais assez impliquée dans deux parties.

La première est liée aux événements dans l'univers très primordial. Nos théories semblent nous dire qu'il pourrait y avoir certains événements dans l'univers primordial qui peuvent produire les ondes gravitationnelles visibles aujourd'hui. Un exemple de ces événements, ce sont les défauts topologiques : lors de transitions de phases, on peut former des défauts stables, comme par exemple ce qu'on appelle des cordes cosmiques. La présence de ces cordes va émettre des ondes gravitationnelles, qui ont un spectre avec une fréquence particulière que l'on peut chercher. Avec les observations de LIGO/VIRGO, on peut mettre des bornes sur le spectre, et donc des bornes sur la physique qui se passe à cette échelle-là. Donc si on ne trouve pas le spectre, ça veut dire par exemple que la transition de phase pourrait avoir lieu à des échelles d'énergie moindres. Je suis donc beaucoup impliquée sur cette partie qui lie les observations aux théories. Comment on forme un réseau de cordes cosmiques, comment elles évoluent, etc.

Mes autres contributions sont reliées à l'expansion de l'Univers aujourd'hui, qui est une expansion accélérée. Cette expansion est caractérisée par la constante de Hubble. Il existe différentes mesures de cette constante, et de nos jours on a un petit problème : les deux expériences principales qui mesurent cette constante donnent des résultats incompatibles, même en prenant en compte les barres d'erreur. Ce problème est appelé tension de Hubble. Or il se trouve que les ondes gravitationnelles constituent une troisième méthode pour mesurer cette même constante, de manière complètement indépendante des mesures précédentes.

Quel est le principe de cette méthode ? Si on a un objet à une distance D , il y a une relation en cosmologie qui lie la distance à la constante de Hubble et à la vitesse à laquelle cet objet s'éloigne de nous, qui s'appelle le *redshift*. Avec des objets tels que des binaires d'étoiles à neutron, le signal des ondes gravitationnelles donne une mesure directe de la distance. Lorsque ces deux étoiles entrent en collision, elles émettent également des ondes électromagnétiques, ce qui permet de mesurer directement le *redshift*. Avec le signal des

deux types d'ondes, on peut donc mesurer la constante de Hubble.

Pour le moment, on a eu un seul événement de ce type avec LIGO/VIRGO ; on a donc une mesure de la constante de Hubble, mais avec une barre d'erreur trop grande pour pouvoir distinguer entre les deux mesures incompatibles précédentes. Or on a du mal à observer plus d'événements de ce type. Il faut donc trouver d'autres façons d'utiliser les ondes gravitationnelles pour mesurer cette constante de Hubble. Notamment, avec LIGO/VIRGO on a observé plus de quarante événements de binaires de trous noirs, qui émettent des ondes gravitationnelles mais pas d'ondes électromagnétiques. Je participe donc au développement de méthodes pour mesurer la constante de Hubble avec ces événements-là.

Ces deux choses me passionnent beaucoup : l'Univers tardif, c'est-à-dire l'expansion de l'Univers aujourd'hui, et l'Univers primordial.

TeS : *Qu'est-ce que vous entendez par « aujourd'hui » exactement ?*

D.S. : Il faut prendre en compte la causalité en cosmologie. Vous avez sûrement déjà entendu parler du fond diffus cosmologique. À un certain temps, à partir d'une certaine température, l'Univers était transparent aux photons, ils pouvaient se propager librement dans l'Univers. Avant ce moment, il était opaque aux photons. Donc en regardant ce fond diffus de photons, on peut voir jusqu'à un certain moment dans le passé, mais on ne peut pas remonter jusqu'aux instants où l'Univers était opaque. Et ce qui est super, c'est qu'il y a quelque chose de semblable avec les ondes gravitationnelles. Il existe un moment à partir duquel l'Univers est devenu transparent aux ondes gravitationnelles. Et il se trouve que ce moment est en fait quasiment au moment du Big Bang. Donc avec ce fond d'ondes gravitationnelles, on peut observer toute l'évolution de l'Univers, presque jusqu'au début. Cependant, c'est un signal très faible, dans un fond qui comporte aussi d'autres erreurs expérimentales. Mais si on arrive à l'extraire, c'est passionnant.

TeS : *Comment réussir à être invitée à une collaboration de cette envergure ? Comment se passe l'émergence d'un projet de ce type ?*

D.S. : L'émergence du projet en lui-même remonte à il y a très longtemps. L'idée de mesurer des ondes gravitationnelles s'ancre dans une histoire assez complexe : rien qu'au niveau de la théorie, c'est assez complexe de voir si des solutions d'ondes peuvent émerger ou non. Une fois qu'on a compris qu'il pouvait effectivement exister des ondes gravitationnelles, des gens ont voulu comprendre comment on pourrait les détecter. Je ne connais pas tous les détails de l'histoire, mais je sais que l'idée d'un interféromètre est plutôt ancienne.

Pour ma part, j'ai été impliquée dans le projet car il y a beaucoup de gens de l'APC qui travaillent dans VIRGO. Il y a des gens qui travaillent sur les miroirs, d'autres qui essaient de comprendre le bruit quantique dans les expériences, etc. On discute avec tous ces collègues, et à force de discuter, je me suis rapprochée de tout ça. Et c'était très en accord avec mes travaux théoriques.

TeS : *Quel est votre parcours personnel ? Quel est votre ressenti en tant que femme en sciences ?*

D.S. : Premièrement, je suis née en Angleterre. J'y ai fait toute ma scolarité, ainsi que l'université. Et j'étais dans un lycée où il n'y avait que des filles. Je pense que cela m'a aidée car j'avais très peu confiance en moi, et il n'y avait aucune forme de pression sociale sur l'idée de faire de la science en tant que fille. Après, en Angleterre, entre seize et dix-huit ans, on se spécialise dans trois ou quatre sujets : j'ai fini par choisir sciences et langues. Et à ce moment-là, ma prof de physique m'a dit que j'étais trop nulle pour faire de la physique, ce qui m'a passablement énervée. Donc je me suis mis en tête de lui prouver que j'étais capable de faire de la physique. Ensuite, j'ai postulé en physique dans certaines universités. Je suis allée à l'Imperial College de Londres, où ils m'offraient un parcours très intéressant car j'avais droit à une année Erasmus ainsi qu'à une bourse pour faire de la musique au Royal College of Music. Là-bas je n'ai pas du tout senti de biais parce que j'étais une fille, à part une seule fois. Mais on était vingt filles sur deux-cent-quatre-vingts. On est vite toutes devenues amies, et on a montré qu'on était toutes autant capables de faire de la science que les garçons. J'ai aussi fait beaucoup de musique en parallèle.

C'est en cherchant des thèses que j'ai eu une fois un commentaire complètement déplacé de la part d'un prof de physique, qui m'avait dit qu'en tant que fille il valait mieux que je cherche une formation plus manuelle. A part ça, j'ai continué à chercher des thèses, et j'ai fini par faire une thèse en cosmologie théorique avec Thomas Kibble. C'était un professeur incroyable, extrêmement modeste. Et je n'ai jamais ressenti de pression parce que j'étais une femme, ni pendant ma thèse, ni pendant mon post-doc.

Par contre, quand je suis arrivée en France, j'ai eu droit à quelques commentaires déplacés. Mais j'étais déjà suffisamment âgée, d'une certaine manière, pour ne pas être embêtée par ça. Je commençais déjà à être reconnue pour ce que je faisais. Je pense qu'on peut parfaitement faire de la science, et combiner ça avec une vie familiale sans problème ; il faut juste avoir assez de confiance en soi pour ne pas écouter les critiques.

TeS : *De notre expérience associative, il y a besoin de plus d'encouragement à toutes les échelles. C'est dès la primaire que les*

premiers stéréotypes se créent. Qu'est-ce que vous diriez à ces élèves en primaire ?

D.S. : Je pense que je leur dirais de ne pas rentrer à la maison en étant persuadée de ne pas pouvoir faire de maths, ou de faire de la science. Car cela arrive beaucoup, et souvent sans aucune raison, même chez des filles qui ont de très bonnes notes en maths.

Il y a aussi un manque de confiance assez flagrant chez beaucoup de filles, même chez celles qui sont brillantes. Et je n'ai aucune idée de comment régler ce problème, malheureusement.

TeS : *A l'autre bout de la chaîne, plutôt dans les laboratoires, est-ce que vous pensez que c'est pertinent de faire des actions administratives à ce sujet, à l'échelle de l'organisation du labo, ou du processus de recrutement par exemple ?*

D.S. : Je pense que c'est extrêmement important de sensibiliser sur cette question. De nos jours, les gens en parlent beaucoup plus : on a des chiffres sur le nombre de filles dans les promotions, le nombre de femmes dans les laboratoires, le nombre de femmes médaillées du CNRS, etc. Et je pense que c'est très bien de faire ça. Malheureusement, ça vient souvent avec le commentaire du type « ah, t'as eu ça parce que tu es une femme » ; parce qu'il y a des quotas, parce qu'il y a une demande de promouvoir les femmes, etc. Et c'est cela que je trouve assez dur à gérer : ça continue encore aujourd'hui, et j'y ai moi-même eu droit quelques fois.

Il y a certaines actions qui sont très positives, d'autres qui sont peut-être un peu plus négatives. Une chose que je vis personnellement, c'est au niveau de la nomination de femmes dans les commissions de recrutement, où il y a un quota de 40% si je me souviens bien. Sauf que dans mon domaine en particulier, il y a très peu de femmes, donc nous sommes dans tous les comités, ce qui prend beaucoup de temps. Cela devient un cercle vicieux, car on a moins de temps pour travailler en-dehors de ces comités, donc quand on reçoit une distinction, on nous dit que c'est parce qu'on est une femme, et ainsi de suite.

Il y a aussi le problème que souvent, même s'il y a des femmes dans le comité de recrutement, aucune femme n'est interviewée pour être recrutée. Donc pour moi, le problème est à résoudre beaucoup plus bas, beaucoup plus tôt.

TeS : *Souvent, quand on va en lycée, c'est difficile de leur faire prendre conscience du problème alors qu'il y a encore la parité. On se rend généralement compte du problème un peu trop tard. Est-ce que vous avez remarqué un changement sur l'étendue de votre carrière ?*

D.S. : J'ai l'impression que ces dernières années, il y a un petit peu plus de femmes. Mais je n'ai pas les statistiques pour en être certaine. Mais j'ai la sensation de voir plus de femmes post-docs, un peu plus de séminaires donnés par des femmes aussi. J'essaie, pour les séminaires dont je suis responsable, de mettre un peu plus les filles en avant quand

je peux.

TeS : *Merci beaucoup pour vos réponses !*

– **Propos recueillis par Victor Lequin et Hannah Burgaud**
Mise en forme par Juliette Savoye

Neutrinos et reconstruction de traces

L'été dernier j'ai eu le plaisir de réaliser un stage de recherche d'un mois et demi à l'IJCLab, à Orsay. Ce stage s'intitulait « Simulation et reconstruction d'évènements dans l'argon liquide avec DUNE ». L'occasion de discuter ce que sont les neutrinos, comment nous les détectons et quels sont les problèmes qui se posent en la matière !

Commençons par un peu de contextualisation. Les neutrinos sont des particules élémentaires n'interagissant qu'au travers de l'interaction faible. Autrement dit, elles interagissent peu, très peu. Ce manque d'interactions a rendu l'étude de leurs propriétés très difficile pendant de nombreuses années. De plus, ces particules sont singulières puisque le modèle standard ne dit que très peu de choses à leur sujet. En 1957 Bruno Pontecorvo émit l'idée que les états de production des neutrinos (ν ou $\bar{\nu}$) ne sont pas des états propres du Hamiltonien de propagation. Pour corriger cela, il introduit une base de ces états propres (que l'on notera (ν_1, ν_2, ν_3)) et montre qu'il existe une oscillation des états de production (par simple oscillation de Rabi). Cette idée d'oscillation neutrino/antineutrino sera reprise par Maki, Nakagawa et Sakata en 1962 en l'adaptant pour une oscillation de **saveur** (c'est à dire entre ν_e, ν_μ et ν_τ). La formule qui donne la probabilité d'osciller d'une saveur α vers une saveur β en fonction de la longueur de propagation (à une énergie E) est donnée

par $P_{\alpha \rightarrow \beta}(L) = \left| \sum_{k=1}^3 U_{\alpha k}^* U_{\beta k} e^{-i \frac{m_k^2 L}{2E}} \right|^2$. Dans cette formule, U_{ij} sont les coefficients d'une matrice 3×3 appelée **matrice PMNS** (des noms des physiciens précédents) et m_k est la masse de l'état propre de propagation ν_k .

Bon, nous voilà en fait peu avancés, en quoi tout cela est utile ? La réponse se situe dans les coefficients de la matrice PMNS. Pour comprendre, revenons un peu en arrière, dans l'univers primordial. Alors que l'univers est encore très jeune, nos modèles prédisent qu'il est constitué à parts égales de matière et d'antimatière. Aujourd'hui toutefois, cette belle symétrie est brisée et il ne reste que de très maigres résidus d'antimatière dans l'univers observable. Andrei Sakharov proposa en 1967 trois conditions pour qu'une telle brisure de symétrie ait lieu. Parmi elles, l'existence d'un phénomène violant la symétrie charge-parité (CP). Cette symétrie, lorsqu'elle est respectée, donne à la matière le même comportement

qu'à l'antimatière. Pour passer de l'une à l'autre, il suffit, en quelque sorte, d'opposer les charges et inverser la gauche et la droite. Un théorème important de la physique fondamentale nous informe que la symétrie CPT (charge-parité-temps) est **toujours** préservée pour une théorie quantique des champs comme le Modèle Standard de la physique des particules. Si CP est conservée, alors naturellement T aussi, et la matière et l'antimatière ont le même temps de vie/d'interaction, tout se passe bien. Si en revanche CP est violée, alors T aussi (pour compenser et conserver CPT). La matière et l'antimatière n'ont plus le même temps de vie/d'interaction, un déséquilibre se crée, et c'est la brisure de symétrie. Mais une telle violation existe-t-elle vraiment ?

Aujourd'hui, nous savons qu'il existe des violations de la symétrie CP dans le secteur de l'interaction forte, c'est le cas par exemple lorsque nous observons le comportement d'oscillation matière/antimatière du kaon neutre K_0 . L'oscillation $K_0 \rightleftharpoons \bar{K}_0$ viole la symétrie CP. Super ! Mais en réalité non... Cette violation est trop faible pour expliquer la brisure de la symétrie matière/antimatière de l'univers primordial. Il faut chercher ailleurs. Une piste est alors le secteur faible, celui des neutrinos..

En effet, il est possible d'ajouter aux coefficients de la matrice PMNS un paramètre, δ_{CP} (appelée phase CP) tel que si $\delta_{CP} = 0$ alors la symétrie CP est conservée, mais ce n'est plus le cas pour $\delta_{CP} \neq 0$. Dès lors, il devient primordial de pouvoir évaluer ces coefficients, et pour cela, il nous faut des mesures sur les oscillations de neutrinos !

Maintenant que nous savons le pourquoi, voyons le comment. Pendant mon stage j'ai travaillé avec l'expérience DUNE, ou plutôt avec ProtoDUNE-VD. En effet, l'expérience DUNE n'est pas encore lancée. Il s'agira d'un immense détecteur de neutrinos composé de 4 conteneurs de $18\text{m} \times 19\text{m} \times 66\text{m}$ remplis d'un total de 40kT d'argon liquide refroidis à 80K. Ce détecteur aux dimensions hors-normes devrait commencer sa prise de donnée à l'horizon 2030. Afin de tester le fonctionnement des technologies qui seront à l'oeuvre dans le détecteur final, plusieurs prototypes ont vu le jour. Parmi eux, ProtoDUNE-VD. « Proto » pour prototype et « VD » pour Vertical Drift (dérive verticale). Alors comment tout ceci fonctionne ?

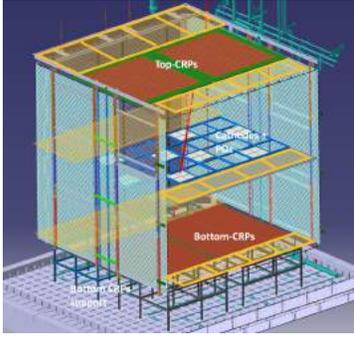


Figure 4 – Schéma de ProtoDUNE-VD

ProtoDUNE-VD (et à fortiori DUNE) est une LArTPC (Liquid Argon Time Projection Chamber, ou chambre de projection temporelle à l'argon liquide). Il s'agit d'une piscine d'argon liquide équipée de deux anodes sur les faces supérieures et inférieures du détecteur et une cathode en son centre. Celles-ci génèrent un champ électrique très uniforme de 500 V/cm. Lorsqu'une particule chargée pénètre dans le détecteur, elle va ioniser l'argon. Les électrons ainsi libérés vont alors dériver verticalement vers l'anode la plus proche. Sur ces anodes sont installés des plans de détection (induction) et de collection des charges. Les données de ces plans permettent une reconstruction 2D de la trace laissée par la particule incidente. La reconstruction selon la direction verticale (3D) est assurée par la photoscintillation de l'argon liquide. Lors de son ionisation, l'argon va émettre de la lumière qui sera détectée et utilisée comme déclencheur d'un "chronomètre" permettant de mesurer le temps de dérive des électrons. Leur vitesse de dérive étant une constante connue, on remonte ainsi à leur profondeur d'émission. La trace 3D de la particule chargée de départ est donc reconstruite!

Tout ceci est super, mais en pratique, un neutrino n'est pas chargé... En fait ce n'est pas gênant. Lors de son entrée dans la LArTPC, un neutrino va pouvoir interagir de différentes façons avec l'argon liquide, donnant ainsi naissance à une particule chargée selon le diagramme de la figure 5

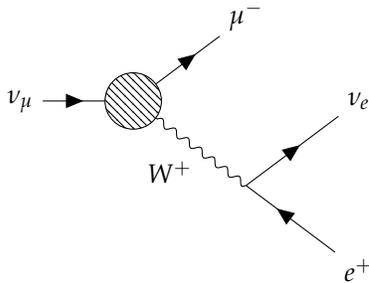


Figure 5 – Désintégration d'un neutrino muonique

Par exemple, un neutrino muonique ν_μ donnera naissance à un muon (et d'autres particules) qui pourra être reconstruit. Ce qui est très agréable, c'est que les muons et les électrons,

qui sont les deux particules principales qui seront émises par le passage d'un neutrino, ont des traces très distinctes. En effet, les muons laissent de longues traces rectilignes tandis que les électrons/positrons éclatent en cascades électromagnétiques par rayonnement de freinage. Mon travail durant le stage a été d'évaluer les performances de la reconstruction de ces traces par un algorithme dédié : PANDORA. À l'aide de données simulées via des méthodes Monte-Carlo (et dont on sait qu'elles reproduisent fidèlement la physique) j'ai pu utiliser PANDORA et évaluer ses performances. Pour cela, j'ai commencé par étudier les traces laissées par une gerbe électromagnétique. Celles-ci sont caractérisées par trois grandeurs : E_{tot} l'énergie totale de la gerbe (qui est naturellement égale à l'énergie de l'électron primaire), X_0 la longueur de radiation et R_M le rayon de Molière. Ma première observation a été que Pandora semble ne reconstruire qu'environ 55% de E_{tot} (des charges totales déposées). Ce facteur 2 semble pouvoir s'expliquer simplement par un défaut de calibration de l'algorithme.

X_0 correspond à la longueur typique au bout de laquelle l'électron de départ voit son énergie réduite d'un facteur $1/e$ (où e est le nombre d'Euler). R_M est le rayon d'un cylindre dont la longueur est celle de la gerbe entière et tel qu'il contient 90% de l'énergie de la gerbe. Pour l'argon liquide, ces valeurs sont connues et ne dépendent pas de l'énergie de l'électron primaire, on a $R_M^{th} = 9,04\text{cm}$ et $X_0^{th} = 14\text{cm}$. Les valeurs obtenues avec PANDORA sont assez éloignées des valeurs attendues et sont résumées dans la table 1.

	Simulation	Reconstruction
R_M [cm]	$13,5 \pm 0,8$	$25,2 \pm 3,7$
X_0 [cm]	$56,1 \pm 6,7$	$57,1 \pm 5,4$

Table 1 – Valeurs de R_M et X_0 obtenues pour la simulation et la reconstruction.

Les écarts entre valeurs simulées et reconstruites peuvent s'expliquer en tenant compte de la physique d'une gerbe EM (représentée sur la figure 6).

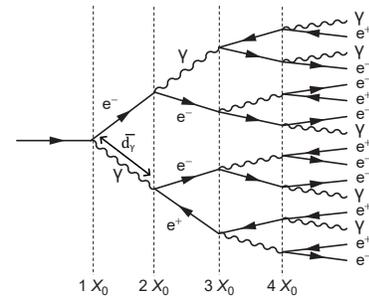


Figure 6 – Gerbe électromagnétique

Dans une telle gerbe, une partie importante de l'énergie est convertie sous forme de photons γ . Or, le détecteur n'est pas sensible à ces photons (puisque'ils ne sont pas chargés).

De fait, lorsqu'un photon vole dans le détecteur, il augmente artificiellement la longueur détectée de la gerbe, d'un facteur valant son libre parcours moyen, soit environ 15 cm. Ajoutons à cela la correction d'un facteur deux trouvée précédemment et nous retombons bien sur nos pieds !

Ma dernière tâche fut d'évaluer l'efficacité de reconstruction des traces de muons. Pour celles-ci, j'ai pu mettre en évidence que PANDORA fonctionne très bien sur presque toutes les traces, malgré un petit shift systématique sans doute issu d'un défaut de calibration. Toutefois, il existe un cas particulier où la reconstruction est vraiment plus mauvaise : les

traces horizontales. En effet, PANDORA fonde sa reconstruction sur des coïncidences temporelles des différents dépôts de charges après leurs dérives verticales. Lorsqu'une trace est horizontale, toutes les charges, dérivant à la même vitesse, atteignent les plans de détection simultanément. Dès lors, l'algorithme est confus et ne parvient plus à reconstruire efficacement les traces ! Ce décalage est d'autant plus problématique que la majorité des traces de muons attendues pour l'expérience réelle seront des traces horizontales ! Il est donc crucial d'être capable d'avoir une reconstruction optimale !

– Lukas Péron

CHRONIQUE ENSR

En mai 1998, dans une chronique publiée dans *La Recherche*, Bruno Latour rapportait un dialogue entre un scientifique et une journaliste où cette dernière l'interpellait ainsi :

« Les étudiants, les profs de science, les ingénieurs, les industriels, le grand public, ils payent tous pour la recherche, c'est leur science après tout, c'est leurs impôts, ça les intéresse peut-être de savoir ce que vous cherchez, pourquoi vous avez privilégié telle discipline, telle instrumentation, tel programme, telle collaboration. Ne croyez-vous pas que le public et la communauté scientifique ont tout de même des intérêts communs à partager ? » [1]

La transition écologique, l'intelligence artificielle ou encore les biotechnologies incarnent des choix critiques pour l'évolution de la société. Mais comment se construisent ces projets de recherche et qu'est-ce qui fera émerger les suivants ? Comment s'élabore une stratégie pour la recherche au niveau d'un pays, quel est le rôle de l'État, des organismes scientifiques et des universités ? Comment sont évalués ces résultats sur le plan technologique, économique et social ?

Éclairés par cette chronique de Bruno Latour que nous citons en incipit de cet article, nous vous proposons une nouvelle série d'articles d'introduction à la politique scientifique et à l'organisation de la recherche à l'échelle française, européenne et internationale. Il semble légitime de s'interroger sur ces facteurs qui tiennent un rôle dans les choix que nous faisons pendant nos études pour devenir chercheur. Si la science est pour beaucoup d'entre nous une affaire de passion, sa réalisation dans notre vie professionnelle s'inscrit dans une histoire et une actualité répondant à des enjeux définis par les politiques scientifiques à différentes échelles. Ces questions très vastes mobilisent les acteurs de la recherche mais aussi les acteurs à l'interface comme les États, les entreprises ou les associations. Il s'agit dans cette chronique d'éclairer l'état des réflexions et leur historique, en mobilisant notre expérience à l'ENS, nos relations avec les laboratoires et les disciplines

reliées en sociologie de l'innovation et des sciences.

Coupes budgétaires : une crise de la représentation scientifique auprès du gouvernement ?

L'annonce en décembre 2023 par le président de la République de la création du Conseil présidentiel de la science [2] renouvelle-t-elle la relation entre l'État français et la recherche publique française ? Publié en mai 2023, le rapport de la Mission sur l'écosystème de la recherche et de l'innovation [3] confiée à Philippe Gillet, confirmait dans sa première recommandation cette attente de représentativité au plus haut niveau de l'État avec la création d'un haut-conseiller à la science au niveau de l'Élysée ou de Matignon. D'autre part, la communauté scientifique traverse depuis les années 2000 une période de profonde mutation, sur la question des financements et de l'évaluation des projets de recherche. Les débats et les contestations lors de la présentation de la Loi de programmation pluriannuelle de la recherche (LPPR) sont un marqueur important de cette crise.

Cependant, en février 2024, le gouvernement a retiré par décret 900 millions d'euros de plusieurs postes budgétaires dédiés à la recherche publique, ravivant l'émoi dans la communauté scientifique face à l'ambivalence de la politique scientifique française. Ce contrôle budgétaire révèle la capacité de contrôle de l'État sur les activités de recherche, dont le montant total des dépenses en France, agrégées dans la Dépense intérieure de recherche s'élevait à 55,5 milliards d'euros en 2021, dont environ 45% est générée par les administrations et les organismes de recherche, 55% environ par les entreprises [4].

Cette proximité de cadrage et de financement, entre l'État et la sphère scientifique, est assez récente dans l'histoire

moderne. Comment cette incorporation des activités de recherche dans le périmètre des politiques publiques s'est-elle réalisée et quels en ont été les facteurs limitants ? D'aucun citerait la difficile coordination de l'interdisciplinarité des milieux scientifiques et on conclurait sur l'ampleur des efforts nécessaires pour rassembler a priori les chercheurs de disciplines très éloignées. D'autre part, on invoquerait vite la méfiance des scientifiques face à la bureaucratisation de leur profession, qui signifierait une perte d'efficacité et d'indépendance. Mais comment caractériser la sphère scientifique avant l'institutionnalisation du statut de chercheur ? Était-elle autonome, indépendante, autofinancée ? Comment analyser cette transition vers une recherche institutionnelle, financée et sous tutelle de l'État ? A travers la lecture des travaux de l'historien Vincent Duclert, nous évoquerons donc ci-après, et dans de prochains articles, l'historique de l'engagement difficile des moyens de l'État dans la supervision de la recherche. Nous évoquerons le rôle des universités, réticentes à cette transition et la constitution progressive de la volonté politique des chercheurs de se coordonner pour mettre leurs travaux au service de l'État.

Les débuts de la politique scientifique française pendant la Grande Guerre

Dans une publication collective de 2006, *le gouvernement de la recherche* co-dirigée avec Alain Chatriot, Vincent Duclert, historien et professeur agrégé de l'EHESS, retrace la trajectoire des politiques scientifiques de l'État de la fin du XIX^{ème} siècle jusqu'à l'aboutissement de la politique scientifique gaulienne dans les années 1960 [5]. Vincent Duclert détaille son analyse dans un schéma historique en six tableaux, sous le prisme de deux éléments : « la rencontre des savants et des politiques » et « les processus d'institutionnalisation ». Son analyse décrit la prise de conscience progressive de ces deux catégories d'acteurs sur l'importance d'une politique scientifique en France à la fin du XIX^{ème} siècle, et plus intensément à la fin de la Seconde Guerre mondiale. Ces décennies de tensions militaires et de conflits armés auront été un levier puissant pour accélérer et entériner les initiatives de fédération et d'institutionnalisation de la recherche. Souvent portés par de petits groupes de scientifiques français, ces appels ont d'abord suscité de faibles réponses de la part de l'exécutif de la III^{ème} République qui laissait la recherche s'organiser dans le cadre privé ou associatif. Vincent Duclert cite quelques tentatives de création d'instituts de recherche au début des années 1900 comme l'EPHE ou l'Institut Pasteur. Il cite alors des résistances provenant de la Faculté face au rayonnement de ces instituts, comme l'Institut Pasteur porté par la découverte du traitement contre la rage en 1885. Au-delà de la création de foyers de recherche puissants, des parlementaires de la majorité réussissent à créer le 14 juillet 1901 la

première Caisse des recherches scientifiques, dont les dotations devaient servir au financement des laboratoires français. Toutefois, à peine créée la CRS souffrait d'un budget modeste et d'un conseil de gouvernance faible face aux universités.

Néanmoins, au début de la première guerre mondiale, les scientifiques ont adopté globalement une position commune de dénonciation de la barbarie de l'ennemi et ils ont pu participer à l'effort de guerre à travers une première vague de « mobilisation scientifique ». Cette coordination entre laboratoires a bénéficié de l'extension des fonctions de la Commission aux inventions intéressant la défense nationale rattachée au Ministère de l'instruction publique ; créée en 1887 à la faveur des politiques d'armement. Cette commission se transforma ainsi « en direction de ministère puis en sous-secrétariat d'État auprès du ministre de l'Armement ». Ses premières équipes dirigeantes furent nommées dans les rangs des sciences et techniques comme Jean Perrin, qui fut nommé chef adjoint du cabinet technique de Paul Painlevé de 1915 à 1916. Cet organe de coordination de la recherche devenait cependant sensible aux fluctuations politiques, puisqu'elle redevint une direction administrative, sous tutelle du ministère de l'armement en 1917 sous le gouvernement de Clémenceau.

Après la guerre dans les années 1920-1930, quelques avancées institutionnelles consolident les acquis de la Grande Guerre, notamment avec l'engagement politique de Jean Perrin, dont le projet politique visait à renforcer la présence des chercheurs dans les décisions publiques et à organiser leur soutien. De nouveaux centres de recherche sont créés comme l'Institut de recherche agronomique ou l'Institut national d'hygiène, sous tutelle du ministère de la santé. Ces centres conviennent d'une certaine manière aux chercheurs car malgré les budgets faibles, ceci sont reconduits systématiquement et ne remettent pas en cause l'indépendance des laboratoires. Le succès de Jean Perrin s'incarne dans la création du Conseil supérieur de la recherche scientifique le 7 avril 1933.

En conclusion, comprendre l'organisation de la recherche aujourd'hui est un projet où l'histoire des sciences et des politiques scientifiques sont de très bons outils d'analyse. Nous explorerons davantage les avancées de l'institutionnalisation de la recherche à la veille de la Seconde guerre mondiale et les comparerons avec la politique scientifique des années 1950-1960 où l'administration de la science a connu un âge d'or, porté par les ambitions du Président de Gaulle et de Pierre Mendès France.

– **Guillaume de Rochefort**

[1] Latour, Bruno. Chroniques d'un amateur de sciences. Chroniques d'un amateur de sciences. Sciences sociales. Paris : Presses des Mines, 2006. <https://books.openedition.org/pressesmines/152>.

[2] Liste des membres sur cet article du site internet du CNRS, « Un nouveau Conseil présidentiel de la science », 8 décembre 2023. <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/un-nouveau-conseil-presidentiel-de-la-science>.

[3] Gillet, Philippe. « Mission sur l'écosystème de la recherche et de l'innovation », s. d. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/mission-sur-l-ecosysteme-de-la-recherche-et-de-l-innovation-91280>.

[4] enseignementsup-recherche.gouv.fr. « Dépenses de recherche et développement expérimental en France - Ré-

sultats détaillés pour 2021 et premières estimations pour 2022 », 19 décembre 2023. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/depenses-de-recherche-et-developpement-experimental-en-france-resultats-detailles-pour-2021-et-94089>.

[5] Duclert, Vincent. « 1. La France et la politique de recherche au XXe siècle. L'enjeu historique de l'institutionnalisation : », dans *Le gouvernement de la recherche*, (pages 19 à 31). La Découverte, 2006. <https://doi.org/10.3917/dec.chatr.2006.01.0019>.

SIR, I HAVE A QUESTION

New problems

During the winter pause of the redacting team, we asked ourselves many questions : here are a few of those that you may enjoy pondering.

- I** : If a human had the same skin structure as a gecko's, could they stick on walls?
- II** : Can you model the formation and propagation of waves at the surface of a cup of tea when you are walking?
- III** : How many DELs would it take to generate as much luminosity as the Sun, and what would be the corresponding electricity bill? Power-wise, would this be more efficient than the actual Sun?
- IV** : Consider a cavity in thermalized material as when describing black body radiation, but start with an arbitrary spectrum in the cavity – what is the timescale for its thermalization to black body?
- V** : Could gravitational waves form caustics?
- VI** : Can you build a tensegrity-like structure where every part is under tension, and none under compression?
- VII** : Show that the relation $(\text{momentum}) = (\text{kinetic energy}) / (\text{celerity})$ is true for a wave on a taut rope even considering non-linear effects.
- VIII** : In a solid, the stress tensor is defined only on scales bigger than the mesoscopic scale, and as such should be understood as a spatial average : can you describe its variance as a function of the scale considered?
- IX** : If a mountain's shape is approximated by a pyramid, can you estimate the maximal size it can have on Earth? Does it vary a lot with the shape, e.g. if a parallelepiped is chosen instead?
- X** : Which rotation speed should Jupiter have for its height/diameter ratio to equal that of a pizza? Would it still be visible from Earth?

MYSTERY PHOTO

Solution of N_{29}



Figure 7 – Mystery photo of N_{29}

What we see here is a classical ice cube made of regular water, but it sticks to a magnet. According to us the magnetic field applied to the water during its cooling associated to its diamagnetic properties could be the reason of this cool effect!

– Jonathan Billet et Lukas Péron

Photo of N_{30}

What could this sketch of color and these geometrical forms be?

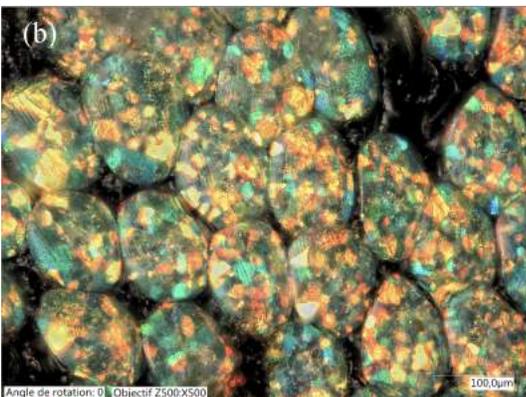


Figure 8 – Mystery photo of N_{30}

ACKNOWLEDGEMENTS

We deeply thank Danièle Steer for her time, Camille Aracheloff from the PMMH and the National Museum of Natural History (MNHN) for her mystery photos and everybody who helps make this journal what it is – starting with you, dear reader!

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

- **Jonathan Billet** φ_{22} :
jonathan.billet@ens.psl.eu
- **Aymane Legssyer** φ_{22} :
aymane.legssyer@ens.psl.eu
- **Lukas Péron** φ_{22} :
lukas.peron@ens.psl.eu
- **Juliette Savoye** φ_{21} :
juliette.savoye@ens.psl.eu
- **Victor Lequin** φ_{21} :
victor.lequin@ens.psl.eu
- **Oriane Devigne** φ_{21} :
oriane.devigne@ens.psl.eu
- **Guillaume de Rochefort** φ_{19} :
guillaume.de.rochefort@ens.psl.eu

(The Editorial Board)

<https://normalephysicsreview.netlify.app>

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

<https://www.instagram.com/normalephysrev/>

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