



Normale  
Physics Review

INPR

École normale  
supérieure

— Fights Bohr-dom —

### Édito N<sub>25</sub> : Wind of Change

Alors que le printemps ne va pas tarder à pointer le bout de son nez, le monde bouge chez les physiciennes et physiciens de l'École ! Les vaillant.e.s élèves du M1 ICFP se dispersent aux quatre coins du monde pour leurs stages de recherche. Répartis sur 4 continents dans pas moins de 14 pays, une formidable épopée scientifique les attend. La rédaction leur souhaite de très bons stages et une enrichissante découverte de ces nouveaux pays (si tant est qu'ils arrivent à obtenir un visa, bon courage !).

L'association PhysicienNES qui œuvre à promouvoir la physique auprès des femmes appelle également au changement. Elle adresse une lettre ouverte à la direction de l'ENS et du département de physique de l'ENS afin de souligner le manque de femmes au sein de l'équipe pédagogique. Si vous êtes étudiant.e en physique, nous vous invitons à signer cette lettre afin de soutenir cette initiative qui, espérons-le, sera entendue !

Ce mois-ci la NPR est d'ailleurs partie à la rencontre d'une grande physicienne de la matière molle, enseignante-chercheuse à l'Institut des Nanosciences de Paris : Sylvie Cohen-Addad. À travers sa passion pour les mousses, elle nous fera voyager jusque dans l'ISS où se déroulent certaines de ses expériences qui révèlent des résultats passionnants. Et si vous préférez les échelles subatomiques, nous vous proposons un dossier sur la physique des particules à travers la découverte du Laboratoire des Deux Infinis à Toulouse. Voilà une discipline qui va beaucoup évoluer dans les années à venir.

Je finirai sur une touche musicale avec cet extrait de Wind of Change, fabuleuse chanson du groupe Scorpions. Bonne lecture !

« Take me to the magic of the moment  
On a glory night  
Where the children of tomorrow share their dreams  
With you and me »

– Oriane Devigne pour l'équipe de rédaction

## SOMMAIRE

<b>Class life</b>	2	<b>Sir, I have a question</b>	13
Where did all the M1 students go? . . . . .	2	New problems . . . . .	13
Lettre ouverte de PhysicienNES . . . . .	3	<b>Mystery photo</b>	14
<b>Physicist's life</b>	4	Solution of N <sub>24</sub> . . . . .	14
Sylvie Cohen-Addad : ça mousse! . . . . .	4	Photo of N <sub>25</sub> . . . . .	14
Dossier physique des particules . . . . .	8	<b>Acknowledgements</b>	14



normalephysicsreview.  
netlify.app

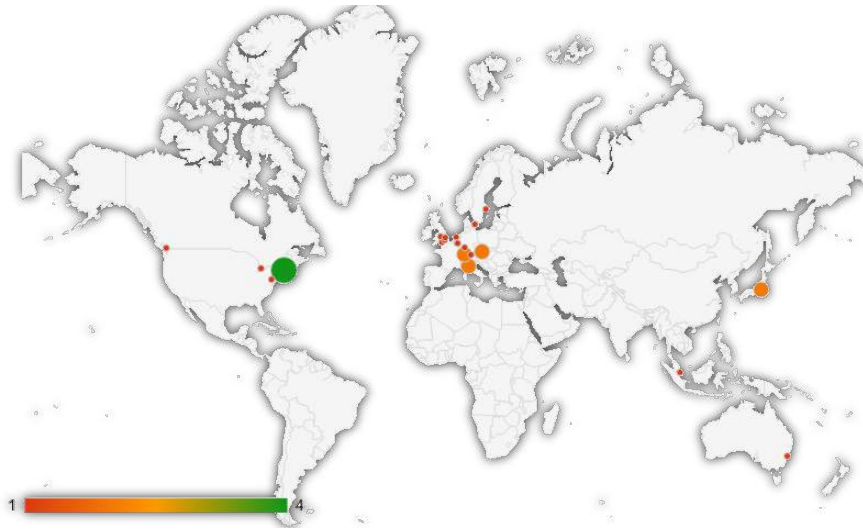


facebook.com/  
NormalePhysicsReview

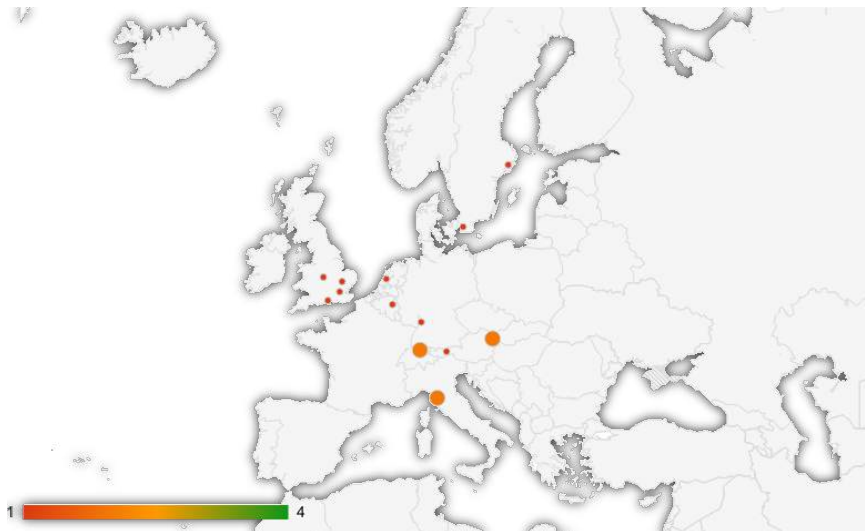
**CLASS LIFE**

**The saga of the M1 students all around the world!**

It's that time of yhe year again! The brave and reckless students of the M1 ICFP are on their way to explore the world and do 4 to 5 months long research internships. Spread all around the world, as you can see on the maps, they will discover the tremendously exciting world of research. If some of them chose to unsheathe their swords against the evil experiments, others will confront themselves to the dark art of computer simulations, while theoreticians will write poems of schemes and equations in their ivory towers, contemplating the beauty of the universe. Battling in all fields, from the mushy swamps of soft matter to the dark forests of quantum physics, passing through the dry canyons of relativity and endless space of particle physics, they shall proudly jump into the battle of physics!



**Figure 1** – *Distribution of M1 ICFP troops around the world*



**Figure 2** – *Zoom on Europe because most of them are afraid to go too far away from home*

– Oriane Devigne

## Lettre ouverte de PhysicienNES

L'association PhysicienNES cherche à promouvoir la physique auprès des jeunes et plus particulièrement à encourager les filles à poursuivre dans les sciences. Pour cela, nous intervenons en collège et lycée mais nous cherchons aussi à encourager des changements de mentalité au sein même de l'ENS.

Dans cette optique, nous avons écrit une lettre ouverte à l'intention de la direction du département afin de souligner l'importance de la représentation féminine dans le corps enseignant. Tous les étudiant·e·s du département (au sens large !) sont invités à lire la lettre, ci-dessous, et à la signer via le lien ou le QR-code.

Merci à tous·tes !

– Les membres de PhysicienNES

À la direction de l'ENS,  
À la direction du département de physique de l'ENS,  
Madame, Monsieur,

Nous vous adressons cette lettre afin de vous faire part d'une problématique soulevée par certains membres du corps étudiant du département de physique. Nous sommes nombreux·se·s à avoir remarqué la quasi-absence de femmes parmi les enseignant·e·s, autant en cours magistraux qu'en travaux dirigés. Dans la L3 FIP, six cours sont proposés au premier semestre de l'année en cours, chacun avec plusieurs chargé·e·s de TD. Cependant, seule une d'entre elle·eux est une femme. L'an dernier, la totalité des enseignements était dispensée par des hommes.

Dans le master ICFP, le constat n'est pas beaucoup plus encourageant. Bien que trois femmes enseignent en M1, elles ne représentent que 10% des professeur·e·s et chargé·e·s de TD. En M2, sur l'ensemble des parcours, elles en constituent 18%. Cette disparité s'étend également aux conférenciers·es invité·es aux séminaires FIP et ICFP.

Ces statistiques, bien en dessous des moyennes nationales, attestent selon nous d'un manque de considération pour la

parité au sein du département de physique, tout particulièrement au niveau du recrutement des enseignant·e·s.

La sous-représentation des femmes dans le cursus laisse à croire que le monde scientifique est un monde d'hommes où les femmes n'ont pas encore leur place. Des recherches [1-3] ont prouvé que le genre des professeur·e·s influence les choix d'orientation des élèves. Un plus grand nombre de professeures encouragerait ainsi les étudiantes à poursuivre dans les voies scientifiques. Nous souhaitons donc sincèrement que vous portiez une attention particulière à ce problème pour permettre une meilleure représentation féminine au sein des professeur·e·s, des chargé·e·s de TD, et des conférencier·ère·s.

L'association PhysicienNES

Bibliographie :

- [1] Sex and Science : How Professor Gender Perpetuates the Gender Gap, Carrell et al., 2010
- [2] Do faculty serve as role models? The impact of instructor gender on female students, Bettinger & Long, 2005
- [3] Pourquoi y a-t-il si peu de femmes en science ? Breda, 2014 <https://doi.org/10.3917/rce.015.0099>



<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeItLcKLVh4m-bAIcJnv2jgTGxU1ENveaEnZ9KyWNaf55LtZw/viewform>

## PHYSICIST'S LIFE

### Interview de Sylvie Cohen-Addad : ça mousse !

Aujourd'hui, nous partons à la rencontre de Sylvie Cohen-Addad : physicienne, enseignante-chercheuse à l'Institut des Nanosciences de Paris à Sorbonne Université. Physicienne de la matière molle, nous allons la suivre dans son laboratoire pour découvrir le monde des mousses qui la passionne tant, en passant par les livres, la place des femmes en science jusqu'à arriver dans l'ISS où se déroulent certaines de ses expériences.

**Sylvie Cohen-Addad** : « Ici nous sommes à l'Institut des Nanosciences de Paris, un laboratoire de Sorbonne Université - CNRS. Les thématiques du labo sont la physique de la matière condensée, l'optique, l'acoustique, la physique des surfaces et la matière molle. L'équipe dans laquelle je travaille s'appelle Mécanique Multi-échelle des Solides Faibles. J'étudie les fluides complexes comme les mousses et les émulsions. »

La chercheuse est avant tout une expérimentatrice. La théorie vient en second, pour modéliser et interpréter les expériences. « Il y a toujours de la modélisation. Je n'appelle pas ça de la théorie, mais quand on fait des expériences, on a envie de comprendre, de modéliser. Globalement, c'est vraiment l'expérimentation qui nourrit mon travail. »



Figure 3 – Sylvie Cohen-Addad dans son laboratoire

Une mousse est *a priori* assez simple : un empilement compact de bulles de gaz dans un liquide savonneux. C'est un objet que l'on peut très facilement fabriquer chez soi ou au laboratoire avec toutes sortes de techniques. Pour comprendre la structure d'une mousse, il faut cependant se pencher sur de multiples échelles : « il y a une première échelle de taille

caractéristique qui est la taille des bulles. Celle-ci peut être très variée, disons de la dizaine de micromètres au centimètre. Si on regarde d'un peu plus près, on s'aperçoit qu'il y a des films de savon aux contacts entre les bulles. L'épaisseur d'un film de savon, c'est plutôt entre 20 et 50 nanomètres. On pourrait zoomer encore sur les surfaces liquide-gaz et s'apercevoir que des tensioactifs y sont absorbés. Ils sont indispensables pour stabiliser la mousse, leur taille est de deux nanomètres environ.

On comprend qu'il y a des échelles de longueurs caractéristiques qui vont de l'échelle moléculaire jusqu'à l'échelle macroscopique. Les propriétés macroscopiques des mousses résultent de couplages entre processus physiques à ces différentes échelles. Prenons l'exemple des propriétés mécaniques, c'est sûr que la taille des bulles va être très importante pour l'élasticité ou la viscosité d'une mousse. Dans un écoulement de mousse, les bulles doivent se déplacer les unes par rapport aux autres. Puisque elles se déplacent dans un liquide visqueux, ça va mettre en jeu les écoulements de liquide dans les espaces autour des bulles, en particulier dans les films. Et il y a encore l'échelle moléculaire qui intervient dans l'écoulement visqueux, parce que les tensioactifs adsorbés à la surface peuvent conférer des propriétés élastiques à la surface. On ne peut pas juste regarder ce qu'il se passe à l'échelle de la bulle et tout comprendre. Les processus multiéchelles rendent les mousses complexes, mais c'est aussi ce qui les rend si passionnantes. »

*« Les processus multiéchelles rendent les mousses complexes, mais c'est aussi ce qui les rend si passionnantes. »*

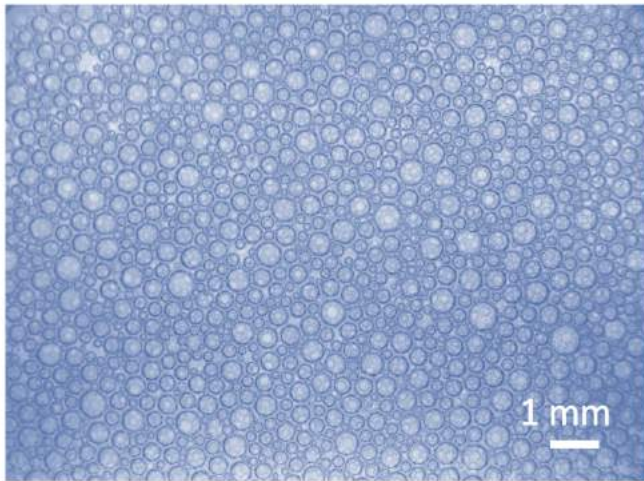
#### De la mousse au chocolat aux mousses solides

Plusieurs propriétés des mousses les rendent d'un grand intérêt pour l'industrie : tout d'abord, elles ont une très grande surface spécifique, c'est-à-dire que l'aire des films de savon par unité de volume est colossale. C'est très utile pour certaines applications de décontamination chimique, des procédés de séparation ou encore dans l'industrie agroalimentaire. Dans la mousse au chocolat, cette surface spécifique très grande en exalte le goût et la mousse n'en est que meilleure ! En outre les propriétés mécaniques d'une mousse sont originales puisqu'elle peut se comporter comme un solide ou comme un liquide. Prenons l'exemple de la mousse à raser : elle peut être élastique, plastique ou s'écouler, autant de comportements que l'on recherche lors de son usage.

« L'une des applications que je trouve la plus intéressante à l'heure actuelle est celle où les mousses liquides interviennent comme précurseurs de mousses solides. Si on y réfléchit, on en a plein autour de nous. Ça peut être les éponges, la pierre

ponce ou des roches. En fait, beaucoup de matériaux poreux ou des céramiques peuvent avoir la structure d'une mousse. [...]

Les mousses solides sont très recherchées, car elles permettent de fabriquer des matériaux beaucoup plus légers que des matériaux pleins, qui ont de bonnes propriétés d'isolation acoustique et thermique grâce à l'air dans les pores. Et puisqu'ils sont légers, ils sont faciles à transporter, à manipuler à moindres coûts. Dans l'industrie du bâtiment on trouve de nombreux matériaux aérés : des mousses de plâtre, des mousses de béton... »



**Figure 4** – Mousse en microgravité (fraction volumique de liquide égale à 25%). Crédit Sylvie Cohen-Addad.

L'équipe de Sylvie Cohen-Addad fait de la recherche très fondamentale, mais, de fait, il y a beaucoup de recherche industrielle sur les mousses : « Les questions posées par les industriels sont intéressantes. Ce sont souvent des questions qu'on n'aurait pas l'idée de se poser au laboratoire. L'industriel a son propre langage, qui est en général très éloigné de notre langage de description. Dès lors qu'on fait le lien entre les langages, on peut souvent remonter à des questions fondamentales sur l'élaboration, la structure, le vieillissement, la mise en œuvre de ces fluides complexes. »

« Prenons l'exemple des mousses solides. Le challenge dans ces applications est de contrôler la structure finale du matériau aéré ou moussé, c'est-à-dire contrôler évidemment la fraction volumique de pores, mais aussi leur taille, leur forme, leur agencement, et aussi s'ils sont ouverts ou pas. Toutes ces propriétés sont héritées de la structure de la mousse liquide. ... dans la mesure où celle-ci ne vieillit pas pendant la phase de solidification. Donc ce qui est intéressant, c'est de comprendre quelles sont les structures possibles d'une mousse liquide et comment les mousses liquides, intrinsèquement instables, vieillissent. »

## Le mûrissement des mousses

Si l'on souhaite que les mousses solides soient relativement solides, il faut que leur précurseur liquide soit une mousse qui contienne une grande fraction de phase liquide. L'étude de ces mousses n'est cependant pas si simple que ça sur Terre.

« C'est un défi mais il est redoutable sur Terre, car le liquide s'écoule très rapidement à travers ces mousses sous l'effet de la gravité, et d'autant plus rapidement que leur teneur en liquide est grande, ce qui est justement le régime que l'on cherche à atteindre. Ces mousses très liquides sont extrêmement instables sur Terre. Alors on peut imaginer un certain nombre de moyens pour contrecarrer l'effet de la gravité et ralentir ou stopper le processus de drainage. » On peut par exemple placer l'expérience dans un clinostat dont la rotation autour d'un axe horizontal va s'opposer à la gravité ; on peut aussi augmenter la viscosité du liquide, ou mieux encore utiliser des liquides à seuil avec des propriétés élastiques. Dans le cadre de la thèse de Nicolò Galvani, des mousses d'émulsions sont réalisées : un fluide complexe de fluide complexe ! Cela permet d'étudier le vieillissement des mousses avec des fractions volumiques liquides plus grandes que dans une mousse simple. « Et puis quand on ne peut plus rien faire contre la gravité terrestre, il n'y a pas d'autre solution que de faire une expérience dans la Station Spatiale Internationale (ISS). En ce moment, mes recherches s'articulent entre les expériences dans l'ISS et des travaux au sol. »

Au sol donc, on étudie le mûrissement de ces mousses dont la phase liquide est une émulsion et qui empêche leur drainage. « Dès que deux bulles de gaz voisines sont de tailles différentes, leurs pressions de Laplace sont différentes. C'est parti, la petite bulle se vide dans la grosse ! C'est un mécanisme qui est vraiment très efficace pour modifier la structure d'une mousse, faire grossir la taille moyenne des bulles, changer la distribution de tailles, etc. Dans une mousse d'émulsion, il y a une compétition entre la loi de Laplace qui tend à faire croître ou régresser les bulles d'une part, et les contraintes élastiques dans l'émulsion autour qui s'opposent aux déformations et tendent à ramener la bulle à son état initial. Dans la mesure où le mûrissement intervient pendant la phase de solidification, on a vraiment intérêt à comprendre le processus et identifier les paramètres élastiques et capillaires qui vont permettre de le bloquer si l'on veut élaborer des matériaux solides aérés avec les propriétés d'usage souhaitées. »

« La clé pour faire de belles expériences est d'avoir des échantillons très bien contrôlés. D'ailleurs, je trouve très amusant de réfléchir puis d'élaborer ces échantillons avec des compositions physico-chimiques, des structures qui sont bien contrôlées, qui vont permettre de répondre aux questions physiques qu'on se pose. C'est un aspect de mon travail qui me passionne. » Une fois ces beaux échantillons en poche, on a toutes les chances de son côté pour modéliser le phénomène étudié, le vieillissement en l'occurrence, et établir les lois qui

le décrivent. On cherche à mesurer l'évolution de la taille des bulles au cours du temps, et leur distribution. Il existe deux méthodes pour faire cela :

- Observer les bulles avec un objectif et une caméra, et prendre des images de la surface de la mousse. Une analyse permet alors d'avoir la distribution de tailles des bulles en surface, et donc la taille moyenne.
- Pour avoir accès à la taille moyenne des bulles en volume, on utilise la diffusion multiple de la lumière à travers la mousse. Comme la surface spécifique d'une mousse est très grande, il y a de nombreux événements de réflexion-réfraction sur les surfaces des bulles. Ainsi, la propagation de la lumière dans la mousse correspond à une marche aléatoire avec une longueur de pas proportionnelle à la taille des bulles. En mesurant l'intensité diffuse transmise à travers la mousse, on en déduit une taille moyenne de bulles.

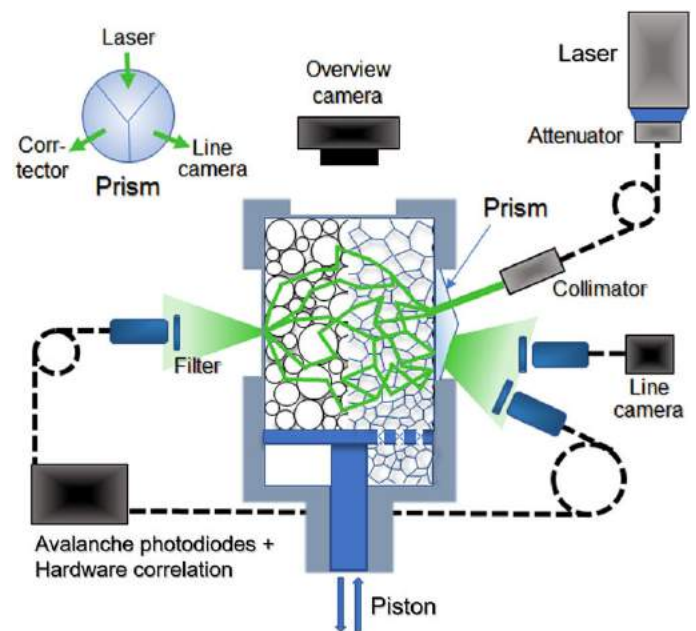
On cherche aussi à mesurer la dynamique des réarrangements de bulles qui sont induits par le vieillissement. L'évolution spontanée d'une mousse va dans le sens qui minimise son énergie de surface. Alors quand elle mûrit, l'empilement des bulles n'est plus optimum, et les bulles se réarrangent de manière intermittente pour retrouver un minimum d'énergie. En conséquence, les interférences entre la lumière du laser qui a suivi différents chemins de photon à travers la mousse fluctuent au cours du temps. En mesurant les corrélations temporelles de l'intensité diffusée, on a accès à la dynamique des réarrangements, leur fréquence et leur durée.

### Des mousses à bord de l'ISS

« Dans l'ISS, ce qui est formidable, c'est qu'il n'y a plus du tout de gravité : la gravité résiduelle vaut  $10^{-6}$  g, on parle de microgravité. On peut donc étudier le vieillissement dû au mûrissement uniquement et sur des durées très longues de l'ordre de plusieurs jours. Il y a potentiellement un autre processus de vieillissement, comme la coalescence quand les films éclatent, mais on peut l'éviter en mettant beaucoup de tensioactifs. »

« Mais comment en vient-on à réaliser une expérience dans l'ISS? Tout d'abord, il s'agit d'un projet dans le cadre d'un consortium d'équipes scientifiques françaises et européennes qui définissent la problématique : "Si on peut étudier le mûrissement des mousses sans gravité, on apprendra pleins de choses sur la structure, le vieillissement, la dynamique voire la mécanique des mousses proches de la transition de blocage", c'est-à-dire quand elles contiennent beaucoup de liquide, lorsque les bulles sont presque des sphères. L'Agence Spatiale Européenne (ESA) accepte alors de financer le projet, et les scientifiques définissent le cahier des charges : on voudrait un dispositif où l'on fabrique des échantillons de fraction volumique et de tailles de bulles contrôlées. Il faudra

que l'on puisse observer les bulles à la surface et qu'on dispose de sondes optiques basées sur la diffusion multiple de la lumière. Ensuite l'ESA confie la réalisation de l'instrument à un contractant (Airbus) qui doit être conforme au cahier des charges des scientifiques, supporter un voyage dans une fusée jusqu'à l'ISS, satisfaire des conditions de sécurité draconiennes dans l'ISS (surtout avec des liquides, même si ce n'est que de l'eau), puis fonctionner de manière assez autonome là-haut. » Les chercheurs valident le prototype sur Terre : la production des échantillons, les réglages de la caméra, des sources de lumière, l'allure des signaux de diffusion de la lumière. Ensuite une version compacte, de la taille d'une grosse boîte à chaussures (30 x 30 x 40 cm), et automatisée de l'instrument est fabriquée et envoyée dans l'espace. Ce set-up est même adapté à l'étude d'émulsions ou de milieux granulaires comme le sable. Toute cette phase de développement n'est, disons-le, pas très fluide puisqu'elle a pris près de 20 ans, mais en mars 2020, les expériences dans l'ISS ont enfin commencé !



**Figure 5** – Les différentes techniques de mesure pour ausculter les mousses à bord de l'ISS : L'objectif + caméra pour observer de visu la surface, les photodiodes et les corrélateurs de signal pour mesurer la taille moyenne des bulles dans la mousse et la fréquence des réarrangements, la caméra linéaire ultra rapide pour résoudre en temps la durée des réarrangements. Source de l'image : [1]

La chercheuse sort alors d'un tiroir un porte-échantillon pour les mousses, identique à celui envoyé dans l'ISS et dans lequel on place des cellules qui sont préalablement remplies sur Terre avec une fraction volumique de liquide moussant très précise et fermées avec des joints pour éviter toute fuite en microgravité. Un piston agité dans la cellule par un électroaimant permet de produire des mousses qui ont initialement

la même distribution de tailles de bulles, donc même taille moyenne de bulles, typiquement 100 – 150  $\mu\text{m}$ . Les cellules sont remplies avec différentes fractions liquides de façon à balayer la transition de blocage et différents liquides moussants dont on sait qu'ils ont un impact sur la croissance des bulles d'après les expériences réalisées sur Terre.

Les ressources en énergie étant limitées sur la Station, l'expérience est mise en marche par les astronautes selon un planning très strict. Les données sont régulièrement envoyées sur Terre grâce à la télémétrie jusqu'à un centre de contrôle en Belgique. Les ingénieurs qui ont écrit les programmes d'acquisition peuvent alors les extraire et les organiser, pour les stocker sur un serveur à la disposition des scientifiques qui récoltent des To de données à analyser !

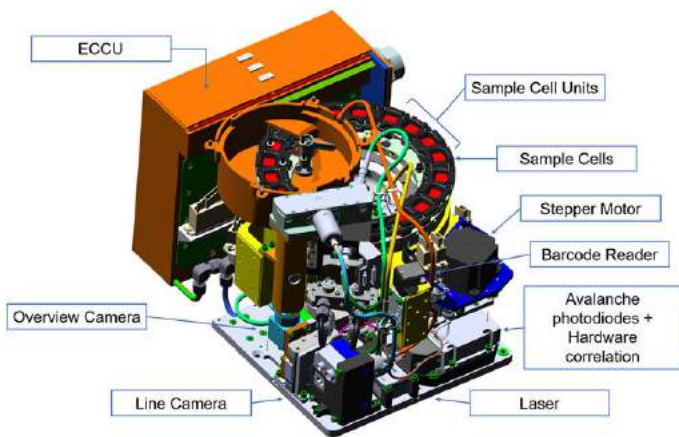


Figure 6 – Schéma de l'instrument à bord de l'ISS. Source de l'image : [1]

« Le travail d'analyse et d'interprétation se fait en collaboration entre les personnes qui sont réellement aux manettes et au cœur de l'expérience : l'équipe d'Emmanuelle Rio, à l'université Paris-Saclay, l'équipe d'Olivier Pitois à l'université Gustave Eiffel et notre équipe ici. L'analyse prend du temps mais elle produit plein de résultats quantitatifs originaux auxquels on ne s'attendait pas du tout. C'est chouette parce que cela demande un travail d'interprétation et modélisation qui est passionnant. Il y a un côté travail de détective pour mettre en ensemble les pièces fournies par les données et vérifier que les indices concordent et que l'interprétation globale est cohérente. Pour l'instant, on s'est concentrés sur les lois de croissance des bulles lors du mûrissement, on a montré que la croissance est statistiquement autosimilaire, c'est-à-dire qu'en normant les tailles de bulles par le rayon moyen, on obtient la même distribution de tailles de bulles à deux instants différents. On s'y attendait, mais on n'avait pas du tout prévu la forme de la distribution qui s'avère bien différente de celle prédite par les modèles classiques. On a aussi mis en évidence un phénomène d'adhésion entre les bulles, qu'on ne pouvait pas voir sur Terre où il est masqué par la gravité qui déforme plus les bulles que ne le fait l'adhésion. Il fallait la microgravité pour le voir. Et ce n'est que le début

des analyses. . . »

« L'analyse des données produit plein de résultats auxquels on ne s'attendait pas du tout. C'est chouette parce que cela demande un travail d'interprétation et modélisation qui est passionnant. Il y a un côté travail de détective pour mettre en ensemble les pièces fournies par les données et vérifier que les indices concordent et que l'interprétation globale est cohérente. »

De la recherche, oui mais pas que

En dehors de ces recherches passionnantes, Sylvie Cohen-Addad est aussi professeure (notamment dans le M1 ICFP) et co-auteurice d'un livre sur les mousses (*Les mousses : structure et dynamique*. Belin, 2010).

Ce livre a été écrit avec l'objectif de définir le socle de base de description des mousses, sans être ultra-spécialisé. Plusieurs auteurs, issus de la communauté scientifique française des mousses, ont participé à son écriture. « L'écriture a été un processus lentement convergent, mais il a quand même fini par converger ! Quand vous avez autant de personnalités qui contribuent à un texte, chacune a ses idées, sa vision. Donc il a fallu pas mal d'itérations pour converger vers un texte qui satisfaisait tout le monde. C'était un bon moyen de ne pas se laisser embarquer dans sa spécialisation. »

L'écriture d'un livre permet de faire une synthèse de ses recherches. L'enseignement, quant à lui, permet de (ou oblige à) creuser en profondeur des sujets précis, auxquels on ne se serait pas nécessairement intéressé dans son travail de recherche. « Parfois on va vite, on reste superficiel dans sa compréhension « en gros » d'un sujet, mais pour un cours, il s'agit de mettre noir sur blanc les idées physiques avec des raisonnements précis. C'est le grand bénéfice des cours. Je crois que la personne à qui le cours profite souvent le plus, c'est l'enseignant, bon pas seulement j'espère. Quand on monte en niveau (M1, M2), on va d'autant plus en profondeur dans l'analyse des problèmes, tout l'art consiste ensuite à trouver les bons raccourcis pour bien faire ressortir les idées physiques. »

Pour conclure cette rencontre, une question nous brûlait la langue, sans trouver comment la formuler. Nous étions trois femmes dans ce laboratoire, une physicienne reconnue et deux chercheuses en devenir. Est-ce plus compliqué d'être une femme dans le milieu de la recherche ? Qu'est-ce que cela change ?

« Alors ça, c'est la question la plus difficile que vous pouviez me poser ! (rires) Je ne sais pas très bien quoi répondre. Ce qui est surprenant, c'est que ce n'est pas un métier si féminisé que ça. Peut-être que je n'ai pas voulu le voir, mais

je n'ai pas l'impression d'avoir subi une discrimination flagrante en tant que femme. La matière molle est un domaine un peu particulier parce que les femmes y sont mieux représentées que dans d'autres domaines de la physique. C'est quand même plus agréable quand on va à une conférence, de rencontrer des hommes et des femmes. Mais j'ai participé à des conférences, par exemple à des workshops sur la diffusion des ondes dans les milieux complexes, pas du tout orienté matière molle donc, où il y avait vraiment très peu de femmes et cela faisait bizarre. Il y a tout de même une chose qui m'a beaucoup frappée, lorsque j'ai été dans des comités scientifiques pour organiser des congrès ou des colloques. Le rôle du comité scientifique est de définir des thématiques, et ensuite d'inviter des collègues à présenter leurs travaux, qui seront donc ainsi mis en valeur. Le comité scientifique se réunit et propose des noms d'orateurs ou oratrices. Et bien, ce qui m'a énormément frappée, c'est que les hommes ne proposent jamais de noms de femmes, ou disons trop rarement. Même dans des comités qui avait l'air bien intentionnés, je me souviens de tours de table où les collègues masculins ne proposaient que des orateurs. Heureusement qu'il y avait des femmes dans le comité pour proposer aussi bien des noms d'hommes que des noms de femmes toutes aussi compétentes. Leur présence avait un impact significatif

sur le pourcentage d'oratrices invitées. S'il n'y avait pas eu de femmes dans le comité, il n'y aurait pas eu de femmes invitées! Cela m'a fait réfléchir sur le fait que, au départ, c'est quand même bien d'imposer qu'il y ait des femmes à certains endroits pour qu'elles pensent à d'autres femmes. Je n'aime pas beaucoup l'idée de quota, mais elle est pragmatique. Au départ, elle permet d'ensemencer le système avec des femmes qui par la suite feront intervenir d'autres femmes, etc jusqu'à ce qu'une sorte d'équilibre représentatif homme/femme soit atteint. Sinon, ça ne vient pas.»

Merci Sylvie Cohen-Addad d'avoir partagé votre passion lors de cette formidable interview!

Deux schémas sont issus de l'article suivant :

## RÉFÉRENCES

- [1] *Soft matter dynamics : A versatile microgravity platform to study dynamics in soft matter*, Review of Scientific Instruments 92, 124503 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0062946>

– Juliette Savoye et Oriane Devigne

## Dossier physique des particules

Qu'est-ce que la physique des particules ?

La physique des particules est le champ d'étude qui s'intéresse aux particules élémentaires et à leurs interactions. Il est difficile de dater le début de cette discipline tant les possibilités sont multiples, de la découverte de l'électron par Thomson en 1899 à l'observation des muons dans les rayons cosmiques en 1936. D'un point de vue théorique, le formalisme actuel est l'héritier direct des travaux de 1928 de Dirac ainsi que de ceux de Jordan, Heisenberg et d'autres.

La théorie aujourd'hui utilisée par les physiciens des particules et appelée le Modèle Standard de la physique des particules. Cette théorie complexe est le fruit de plusieurs décennies du travail de nombreux chercheurs. Elle décrit trois des quatre interactions fondamentales : l'électromagnétisme et les forces nucléaires faible et forte. Chacune de ces forces est contenue dans un modèle, et c'est la réunion de ces modèles qui constitue le Modèle Standard. Pour chacune des interactions, les modèles sont respectivement l'électrodynamique quantique (QED), l'interaction électrofaible et la chromodynamique quantique (QCD). Une subtilité est à noter pour l'interaction électrofaible qui unifie l'électromagnétisme et l'interaction faible.

La théorie qu'on obtient prédit alors l'existence de deux ca-

tégories de particules. Les fermions, qui composent la matière et les bosons qui portent les interactions. Parmi les fermions, on trouve deux familles. Les quarks, qui sont sensibles à la force nucléaire forte et à la force électrofaible, et les leptons qui ne sont sensibles qu'à la force électrofaible.

On dénombre six quarks et six leptons que l'on regroupe en trois générations en fonction de leurs propriétés. On associe également à chaque fermion son antiparticule.

Du côté des bosons, la QCD prédit le gluon et l'interaction électrofaible prédit le photon ainsi que les bosons Z et W<sup>±</sup>. On ajoute à cela le boson de Higgs.

Cet impressionnant ouvrage, prédisant de manière spectaculaire de nombreux effets physiques (au point d'être la théorie physique la mieux vérifiée expérimentalement) s'est vu consacrer de la découverte du boson de Higgs en 2012, avancée majeure de la discipline ayant fêté ses dix ans l'été dernier! Toutefois le modèle actuel présente des limites très importantes et de nombreux problèmes restent ouverts. Parmi ceux-ci on trouve l'explication des oscillations de neutrinos, le problème de la hiérarchie de masse où l'asymétrie matière/antimatière. Sans compter que le Modèle Standard actuel ne prédit pas ce que pourrait être la matière noire et n'inclut pas de description de la gravitation. Pour toutes ces raisons, il reste de nombreux progrès à réaliser dans les décennies à venir! Parmi ces questions, une en particulier était au cœur de mon stage, celle de la mesure de l'autocouplage



du boson de Higgs.

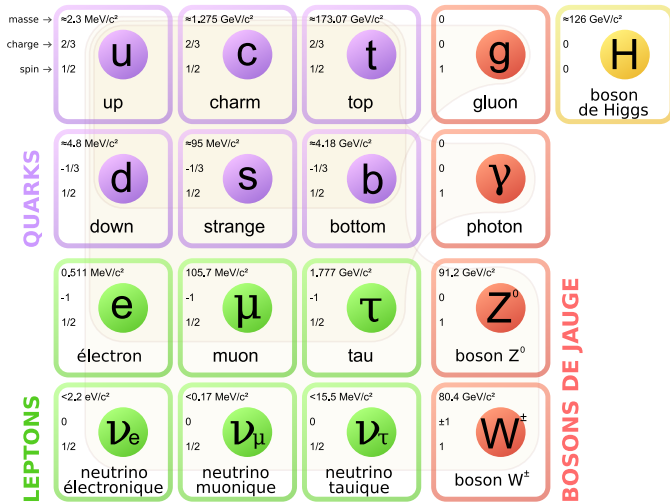


Figure 7 – Image récapitulative du modèle standard (source [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard\\_Model\\_of\\_Elementary\\_Particles-fr.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles-fr.svg))

### Mon stage au laboratoire

J’ai réalisé mon stage en L2 au sein du L2IT, le Laboratoire des 2 Infinis — Toulouse. Dernier né de l’Institut National de Physique des Particules et de Physique Nucléaire (IN2P3) en 2020, cette UMR d’une vingtaine de membres, dirigé par M. Jan Stark, est composé de quatre équipes de recherche :

- l’équipe « physique des particules », membre de la collaboration ATLAS et qui s’intéresse à la physique du boson de Higgs et la recherche de l’autocouplage dudit boson dans le canal  $b\bar{b}\gamma\gamma$ ,
- l’équipe « calcul, algorithmes et données » qui s’intéresse au développement de nouveaux algorithmes pour le traitement des données,
- l’équipe « ondes gravitationnelles », membre des consortia LISA (dont l’exploitation commencera aux alentours de 2035) et Virgo,
- l’équipe « physique nucléaire » qui étudie la structure et la dynamique des systèmes nucléaires en conditions extrêmes d’isospin grâce aux accélérateurs du GANIL.

L’intitulé exact de mon stage était « Étude du mécanisme de Higgs dans l’état final  $b\bar{b}\gamma\gamma$  avec les données collectées par le détecteur ATLAS durant le Run-2 du LHC ». Pour comprendre de quoi il s’agit précisément, revenons un peu sur l’interaction électrofaible.

Cette interaction se modélise à l’aide d’un lagrangien, invariant sous une certaine symétrie de jauge. On retrouve dans cette théorie toutes les prédictions de la QED ainsi que trois bosons de jauge supplémentaires, les bosons Z et W<sup>±</sup>. L’utilité de ces bosons et de décrire les phénomènes de radioactivité et de désintégrations de particules (c’est par l’interaction faible par exemple que l’on comprend la radioactivité bêta).

Un problème se pose toutefois avec la théorie électrofaible. Afin de conserver la symétrie du lagrangien, il faut que les bosons Z et W<sup>±</sup> soient de masse nulle. Or une interaction portée par des bosons de masse nulle est à portée infinie, et on sait que ce n’est pas le cas de l’interaction faible. Renoncer à la symétrie électrofaible étant très coûteux, il faut trouver un moyen de la briser afin d’attribuer une masse aux bosons Z et W<sup>±</sup>. Ce moyen sera théorisé par Higgs, Brout, Englert, Kibble, Guralnik et Hagen en 1964.

Ils postulent l’existence d’un mécanisme de brisure spontanée de la symétrie électrofaible par l’existence d’un champ scalaire complexe. Prenons une seconde pour comprendre. Imaginons un crayon de papier posé verticalement, en équilibre, sur sa mine. Cet équilibre est instable. Tant que le crayon est posé sur sa mine, la situation est invariante par rotation autour de l’axe du crayon. Si toutefois une perturbation vient faire vaciller le crayon, qui tombe dans une direction donnée, alors la situation n’est plus symétrique par rotation car le crayon désigne une direction « privilégiée ». Ce phénomène de transition brusque entre une situation symétrique et une situation qui le l’est plus est appelé brisure spontanée de symétrie. Dans le cas de l’interaction électrofaible, le mécanisme de Higgs brise spontanément la symétrie du lagrangien électrofaible. Cette brisure de symétrie, de la même manière qu’elle attribue une direction privilégiée à l’espace dans notre analogie, attribue une masse aux bosons électrofaibles.

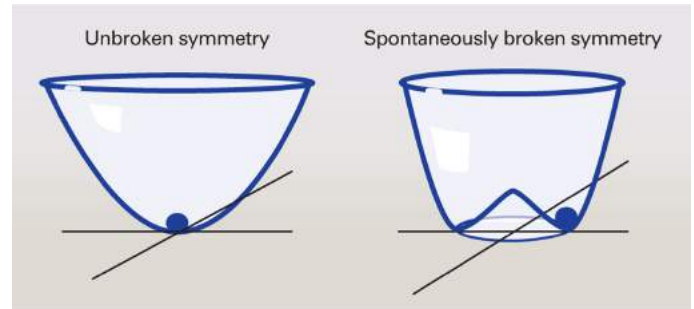
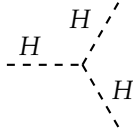


Figure 8 – Illustration de la brisure spontanée de symétrie

Toutefois, pour que cette brisure spontanée de symétrie ait lieu, le potentiel associé au champ scalaire complexe devrait avoir une forme globalement similaire à l’expression  $V(\phi) = \mu^2\phi^*\phi + \lambda(\phi^*\phi)^2$ . La symétrie se brise alors en passant de  $\mu > 0$  à  $\mu < 0$  (on a toujours  $\lambda > 0$ ). En faisant de la sorte on passe d’un potentiel ayant un unique minima correspondant à un état de vide du champ, à un potentiel acceptant deux minima correspondant à des états non vides et un maximum instable pour l’état de vide.

Puisque l’état de vide est instable pour  $\mu < 0$ , la brisure de symétrie pourra avoir lieu. En faisant de la sorte, on peut alors développer le champ autour d’un de ses minimums et on obtient le lagrangien suivant :  $\mathcal{L}_{\text{Higgs}} = \frac{1}{2}\partial_\mu H\partial^\mu H + \mu^2 H^2 + \lambda v H^3 + \lambda H^4 + \dots$ . Le terme  $\lambda v H^3$  correspond au couplage trilineaire du champ obtenu, dit champ

de Higgs. Ce terme est d'une importance capitale puisque c'est lui qui autorise le comportement en chapeau mexicain qui permet la brisure spontanée de symétrie. Voici le diagramme de Feynman associé à ce processus :



On peut prédire la valeur du paramètre  $\lambda$  grâce aux outils du Modèle Standard. L'objectif est donc de comparer les valeurs expérimentale et théorique pour peut-être déceler des effets de nouvelle physique. Mon travail était de comprendre le fonctionnement de l'analyse de données nécessaire à la mesure de  $\lambda$ .

Après cette mise en jambe théorique, voyons plus en détail ce que je faisais vraiment. Mon objectif principal était de reproduire les résultats de l'article Search for Higgs boson pair production in the two bottom quarks plus two photons final state in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector. Pour cela, j'ai eu accès au centre de calcul de l'IN2P3 à Lyon, à des lots de données simulées ainsi qu'aux vraies données d'ATLAS, acquises au cours du Run-2 du LHC. Après plusieurs lectures du papier, je me suis familiarisé avec les outils d'analyse de données utilisé par la collaboration ATLAS. En particulier, je me suis d'abord initié à ROOT, une bibliothèque du C++ développée par le CERN et largement utilisée en physique des particules. J'ai commencé par détecter le boson de Higgs dans des données simulées en suivant à la lettre les différentes sélections à appliquer aux données. L'idée est celle d'un entonnoir. Je ne cherche que les événements qui donneront en finalité deux photons et deux quarks bottom. On commence donc par sélectionner les événements qui correspondent à cela, puis on affine. On demande des critères précis sur l'énergie des photons, celle des jets (ensembles de particules créés par la désintégration d'un quark en cascade hadronique) etc. Au fur et à mesure du travail, on obtient une figure comme celle de la figure 9.

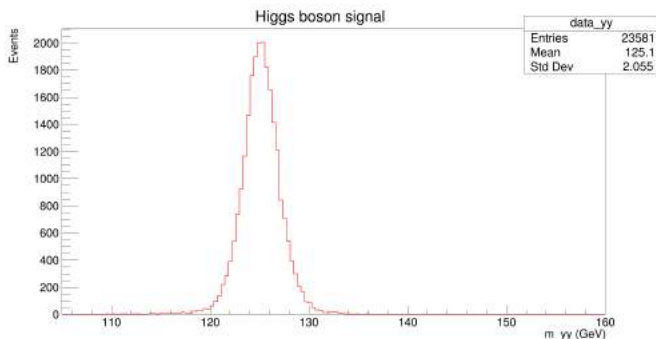


Figure 9 – Exemple de signal obtenu après coupure des données

Une fois cela compris, il a « suffi » de faire pareil en analysant simultanément les quelques 10 processus différents à

étudier! C'est long, c'est très long. Une fois que c'est bon, on fait pareil avec le fichier de données réelles. On combine tout ensemble et tada! C'était vraiment plaisant de réussir à reproduire les résultats obtenus par ATLAS.

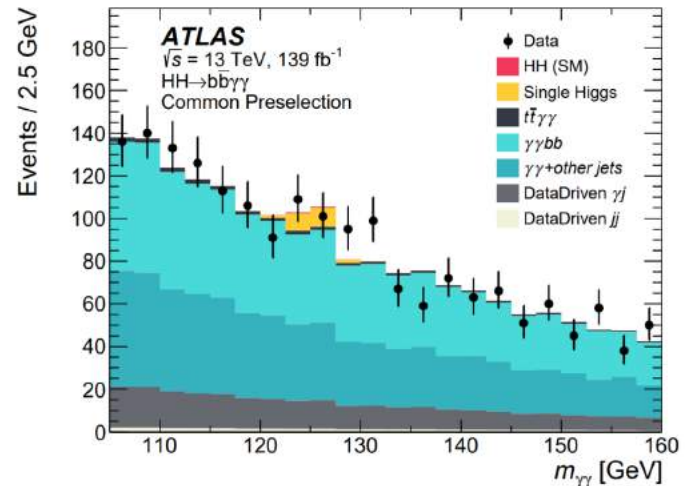


Figure 10 – Analyse issue d'ATLAS

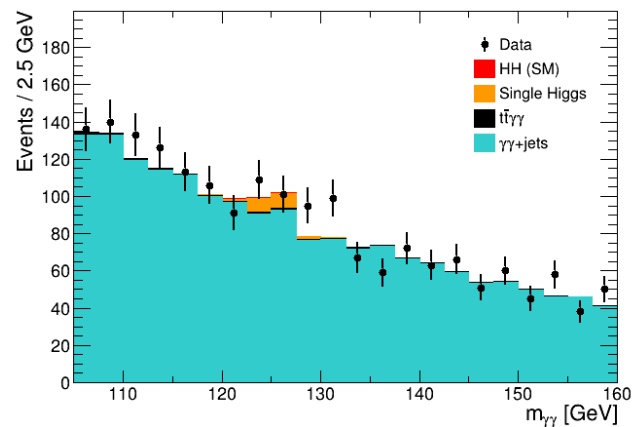


Figure 11 – Mon analyse

Toutefois, cela n'était encore que la première partie de mon stage. Le deuxième mois de mon stage été consacré à la compréhension d'une méthode d'analyse plus fine, utilisant le machine learning, les BDT (pour Boosted Decision Tree)! Là aussi, je me suis formé aux outils utilisés par ATLAS, notamment TMVA, utilisé pour l'analyse multivariée. Le principe d'un BDT est, là aussi, assez simple. On part d'un lot de données qu'on va chercher à trier à l'aide d'un ensemble de variables. Pour chaque élément des données, on accorde un score en fonction du résultat obtenu sur chaque variable. Une illustration est donnée sur la figure 12.

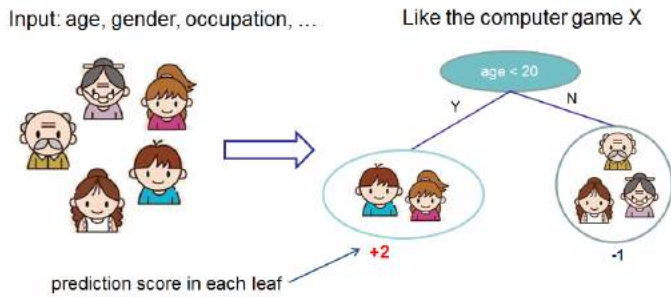


Figure 12 – Exemple simple de BDT

L'idée est alors de produire plusieurs arbres qui vont chacun trier les données en fonctions de différentes variables. On entraîne l'algorithme sur les données simulées puis on déduit un score limite afin de différencier signal et bruit de fond. On applique l'algorithme sur les données réelles puis on ne conserve que les événements ayant un score qui soit conforme aux attentes du signal. En faisant de la sorte, on limite drastiquement le nombre d'évènements conservé mais on améliore leur qualité.

Il y aurait encore beaucoup de choses à dire sur mon stage. Des discussions matinales autour de la machine à café aux longues heures passées à attendre le résultat de l'exécution du BDT pour se voir gratifié d'un « Syntax Error : ";" is missing on line 18 », j'ai vraiment adoré ce stage. Les deux mois que j'ai pu passer au laboratoire m'ont confirmé ma volonté de travailler dans ce pan si riche de la physique qui mêle théorie, expériences de pointe, nouvelles technologies et défis industriels. J'ai trouvé d'autant plus un goût particulier pour l'analyse de données, cette chasse au trésor qui demande de comprendre la physique en jeu pour déceler les quelques événements rares qui se cachent dans un océan de bruit. Quant à la thématique précise, le boson de Higgs était un intérêt personnel depuis longtemps, je suis heureux d'avoir pu en apprendre plus sur cette particule! Pour finir, quoi de mieux que de s'entretenir avec Jan Stark, le directeur du L2IT?

### Interview de Jan Stark

**NPR :** *Quels sont les atouts du L2IT pour la recherche que vous y menez ?*

**J.S :** C'est une recherche qui s'effectue dans des grandes collaborations ; ATLAS c'est 3000 personnes. Nous avons besoin de plein de profils différents. Pour la préparation de la phase Haute Luminosité du LHC, il faut des chercheurs capables de créer des micro-puces, des parties de détecteur, du refroidissement etc. Nous n'avons pas ces compétences, en revanche, pour notre physique, il faut aussi l'analyse de données. C'est une compétence sur laquelle nous souhaitons mettre encore plus l'accent en France. La création du L2IT va

dans ce sens. Nous mettons l'accent sur l'exploitation scientifique des données. Cela ne concerne pas que le dernier plot qui sera dans le papier, c'est en majorité le premier traitement centralisé, c'est-à-dire la reconstruction des données issues des canaux de lecture du détecteur et l'identification d'objets comme des traces de particules chargées. Aussi, si la phase de conception du détecteur est terminée, il n'en va pas de même pour la phase de développement des outils et algorithmes de traitements des données. Si nous n'arrivons pas à créer ces outils, il faudra rogner dans la physique accessible, ce serait très décevant pour tout le monde. Nos atouts sont donc ceux-ci. J'ajouterai que notre laboratoire est très jeune ! Que ce soit la structure elle-même puisque nous avons été créés en 2020 mais aussi l'équipe. J'y vois un certain aspect « startup » !

**NPR :** *Selon toi, quelle est la dernière avancée majeure qu'il y a eu en physique des particules ?*

**J.S :** Malheureusement c'est la découverte du boson de Higgs. Je dis malheureusement car sa découverte était prédite par les théoriciens ; découvrir quelque chose d'inattendu aurait été nettement plus excitant ! Il ne faut pas trop pleurnicher tout de même, nous sommes une science mature, nous n'avons pas tout compris mais nous comprenons tout de même pas mal de choses et nous arrivons à faire des prédictions. Dans les années 1960-1970 les avancées majeures étaient presque tous les mois ! De mon point de vue toutefois, l'exclusion des extensions du Modèle Standard comme la supersymétrie est peut-être un échec pour la communauté théorique, mais c'est un succès énorme pour les expérimentateurs. Ce n'est pas rien d'avoir réussi à tester systématiquement la région des 3 TeV, 5 TeV, 10 TeV, même si c'était pour voir qu'il n'y a rien.

**NPR :** *Selon toi, quels sont les grands enjeux ou défis à venir en physique des particules dans les années et décennies à venir ?*

**J.S :** Les progrès sont toujours venus avec notre capacité à pénétrer dans de nouveaux domaines en énergie et cela nécessite des techniques expérimentales. Nous sommes allés bien plus loin que les fondateurs comme Rutherford qui n'utilisaient que la radioactivité naturelle. La dernière avancée qui nous a permis de gagner des ordres de grandeurs en énergie était la possibilité de fabriquer des aimants supraconducteurs à l'échelle industrielle. Mais ce n'était pas hier, il faut quelque chose de nouveau ! Que ce soit dans nos mécanismes d'accélération ou de déviation des trajectoires. Le projet de FCC au CERN est très bien, mais cela manque peut-être un peu d'ambition. Dans les années 1990, les Américains avaient déjà le projet SSC à 40 TeV. N'avoir qu'un facteur 2 près de 40 ans plus tard, je ne trouve pas cela très ambitieux. Je pense que les jeunes devraient mettre un peu

plus de pression. D'autant que ce n'est pas mutuellement exclusif ! Nous pouvons travailler sur la mise en place d'un projet tel que nous soyons raisonnablement sûr de pouvoir le mener à bien, tout en travaillant sur des technologies un peu visionnaires. Des accélérations à plasma ou autre, nous verrons bien ce que ça donne ! Quoi qu'il en soit, ce sont les techniques d'accélération ou de déviation des trajectoires qui seront le plus vite limitantes. Que ce soit pour accélérer sur de très courtes distances ou des aimants pouvant aller bien au-delà des 20 T. Il faudra pouvoir monter plus haut que 100 TeV.

**NPR :** *Est-ce qu'il y a un résultat, expérimental ou théorique, que tu attends avec impatience ?*

**J.S :** J'ai été un peu sévère tout à l'heure avec la théorie. Le Modèle Standard est tout de même un énorme succès, ce n'est pas rien d'avoir pu prédire le Higgs. Toutefois, il me semble que l'état actuel des recherches théoriques est un peu fouillis. Chacun y va de son hypothèse et de sa théorie. La raison de cela c'est que nous ne savons pas vraiment dans quelle direction aller. Nous savons que nous avons un modèle qui marche très bien, qui n'est sans doute pas faux dans certaines limites, un peu comme l'était la théorie de Newton. Nous sommes sans doute de retour dans cette situation. Sans doute car le Modèle Standard est renormalisable jusqu'à l'échelle de Planck, donc peut-être qu'il marche jusqu'à cette échelle ! Mais la raison majeure qui nous fait penser que ce n'est pas le cas, c'est l'existence de la matière noire. Nous pouvons toujours discuter des quelques défauts esthétiques du Modèle Standard, mais là nous avons vraiment une observation qui ne colle pas avec la théorie. C'est un gros drapeau rouge et il faut en tenir compte, il y a quelque chose. L'idée la plus naturelle c'est que ça soit des particules qui n'interagissent presque pas avec ce qui les entoure, mais dans ce cas, nous devons être capable de les trouver ! Il faut que la nature nous aide avec nos développements de théories ; nous avons besoin d'être guidés dans la bonne direction. La supersymétrie était sans doute une excellente idée mais, au moins sa forme la plus élégante, est exclue. Il faut quelque chose de neuf, une découverte d'une nouvelle particule ou une détection directe de matière noire, quelque chose que nous n'avions pas prévu ! Nous sommes dans une sorte de *far west* où nous cherchons sans trop savoir ce que nous allons trouver.

**NPR :** *Pourquoi quand tu étais étudiant tu t'es dirigé vers cette physique-là particulièrement ?*

**J.S :** C'est une bonne question ! Pour moi c'était assez naturel. Il y a d'autres domaines importants en physique mais pour lesquels j'aurais été incapable de me motiver. Pourquoi ce fut différent avec la physique des particules ? Je ne sais

pas vraiment, ça m'amuse ! Il faut s'amuser pour pouvoir investir les heures qu'il faut. Parce qu'il ne faut pas se cacher la face, pour réussir en physique des particules expérimentale, en début de carrière, c'est 70 heures par semaine minimum. C'est impossible si on ne s'amuse pas !

**NPR :** *Est-ce que, aujourd'hui, tu conseillerais à un jeune de se diriger vers la physique des particules et pourquoi ?*

**J.S :** Je le conseille très fortement ! Je crois fermement en la formation par la recherche. Les jeunes qui liront ça, réfléchissez à ces histoires de techniques d'accélération, c'est un champ passionnant. Je ne le connais pas, mais je comprends combien il est utile et combien il va nous aider ! Sinon, même avec les expériences actuellement en phase d'exploitation, nous avons encore des décennies tout à fait excitantes à venir ! Un autre aspect auquel je n'ai pas touché, c'est l'élaboration ou la construction d'un détecteur. Nous récoltons au LHC les fruits de ce travail et, si on rejoint la discipline maintenant on peut aussi être dans cette situation. On peut commencer sa carrière comme jeune avec des données réelles ! Même pour ceux qui voudraient travailler sur des méthodes d'accélération, ils peuvent faire une partie de leur thèse avec des données réelles qui leur sont servies sur un plateau d'argent, avec un environnement de personnes tout à fait extraordinaires. Évidemment tous les thésards ne deviennent pas chercheurs. Mais ils ont tous eu cet environnement stimulant, international et compétitif. Ils apprendront et auront accès à pleins d'outils également ! Prenons l'intelligence artificielle, c'est un outil crucial et il y a quantité d'emplois à la clef. Nous donnons aussi accès à du matériel de course. Si la nouvelle GPU de chez NVidia n'est pas disponible à la vente en Chine par exemple, chez nous en thèse, tu as la tienne 24 heures sur 24. Les possibilités d'emploi après une thèse de physique des particules ne manquent pas, et je pense que l'on peut s'identifier à bon nombre d'entre eux. C'est scientifiquement intéressant et ça ouvre des portes partout.

**NPR :** *Qu'est-ce que tu préfères dans ta recherche ?*

**J.S :** Quand j'étais jeune j'aimais surtout être tranquille et pouvoir m'enfermer, pratiquer la nuit en fouillant les données. Maintenant c'est surtout le contact humain et les interactions en local.

**NPR :** *Quelle est ta meilleure et ta pire anecdote de thèse ou de recherche ?*

**J.S :** Il y a beaucoup de candidats ! Pour les meilleurs j'en citerai deux, à différentes étapes de ma vie professionnelle. Ce qui est sans doute ma meilleure expérience, sans doute parce que c'était la première fois, c'est ma première présentation

scientifique devant un amphithéâtre bondé. J'étais en début de thèse sur l'expérience BaBar, nous venions de commencer la prise de données. Une présentation devait être donnée dans l'amphithéâtre de SLAC, en Californie. Des prix Nobel étaient présents, tout le monde attendait les premiers résultats sur la violation de la symétrie CP. J'étais initialement prévu au début, 10 minutes, pour présenter mes recherches sur la durée de vie des mésons B, ce qui est fortement lié à la mesure que nous faisons de la violation de CP en fonction du temps. Malheureusement, les résultats attendus de l'expérience n'étaient pas prêts et n'ont pas pu être présentés. Par conséquent j'ai eu l'amphithéâtre pour moi tout seul! C'est quelque chose que l'on a qu'une fois dans sa carrière. La deuxième meilleure expérience c'était de revivre un petit peu cela. Voir mon étudiante en première année de thèse présenter ses résultats lors d'une conférence internationale! Pour la pire expérience je retiendrai surtout les mails que l'on reçoit parfois. C'est désolant de voir des gens utiliser leur

intelligence, certes extraordinaire, pour nuire.

**NPR :** *As-tu un livre, un film ou autre que tu recommanderais ?*

**J.S :** Oui, d'abord le livre *Étonnants infinis* m'a frappé récemment. Mais c'est vraiment un livre sur la physique. Un roman également, *Un trou dans le Texas*. C'est un livre un peu bête, sur le SCC que j'ai mentionné et qui n'a jamais été totalement terminé. Je trouve qu'il n'est pas trop mal fait et qu'il traite bien cet épisode un peu triste.

**NPR :** *Merci beaucoup Jan d'avoir accepté de répondre à mes questions !*

**J.S :** Avec plaisir!

– Lukas Péron

---

## SIR, I HAVE A QUESTION

### New problems

Tickle the soft matter that your brain is with our usual ten physics questions!

- I :** During summer, an air-conditioned shop sells ice-cream stored in a freezer. Is it better to leave the freezer outside the shop, or to keep it inside? (beyond the business strategy!)
- II :** What would it take for it to rain inside? Assuming a rainproof roof.
- III :** What sound do maracas make?
- IV :** Which physical phenomenon is responsible for ice skating?

**V :** How does a pencil eraser work? Which does it tear into filaments?

**VI :** Why does it help walking to let your hand swing along?

**VII :** Cooking rice by letting the water evaporate in a pan will leave holes in the surface of the rice. Why?

**VIII :** Clapping at the end of a show may transition between an ordered, synchronous phase to a disordered phase where people clap in an uncorrelated way. Make a model to describe this effect.

**IX :** What would the tensile strength of a rope be, as a function of that of its fibers?

**X :** Scrooge McDuck has a huge pool of gold coins that he or his nephews can jump into to swim. Would one actually be able to swim in it? And dive into it, without getting hurt?

**MYSTERY PHOTO****Solution of  $N_{24}$** 

La répulsion sans polarité est une méthode de lévitation magnétique n'utilisant ni supraconducteur ni électroaimant. Si le théorème d'Earnshaw interdit de faire léviter deux aimants de façon purement magnétostatique (sans contraindre leur mouvement), il est possible d'obtenir une lévitation stable en mettant en rotation rapide un des deux aimants (le rotator). L'interaction rapide entre les deux dipôles induit une force effective constante pouvant annuler l'effet du poids, confinant ainsi l'aimant en lévitation (le floator) sur une position d'équilibre stable située sur l'axe de rotation du rotator. Cette méthode de lévitation a l'avantage de pouvoir être mise en oeuvre sans refroidissement des aimants et avec des matériaux peu coûteux. Cette photo a été prise lors de la préparation du French Physicist Tournament par Lukas Péron et Jonathan Billet. Les résultats de la manip ont été présentés au premier séminaire FIP du second semestre.

– Lukas Péron



Figure 13 – Photo of  $N_{24}$

**Photo of  $N_{25}$** 

What could these voluptuous and enigmatic shapes be?



Figure 14 – Mystery photo of  $N_{25}$

**ACKNOWLEDGEMENTS**

We thank all who contributed and supported us, and suggested questions! And as always thank you, dear reader!

**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!