



HAL
open science

Sur la voie du physicien Roger Balian : de l'atelier familial à la recherche académique

Emanuel Bertrand, Martha Cecilia Bustamante, Roger Balian

► To cite this version:

Emanuel Bertrand, Martha Cecilia Bustamante, Roger Balian. Sur la voie du physicien Roger Balian : de l'atelier familial à la recherche académique : Entretien par Emanuel Bertrand et Martha Cecilia Bustamante. 2024. cea-04543651

HAL Id: cea-04543651

<https://cea.hal.science/cea-04543651>

Preprint submitted on 12 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Sur la voie du physicien Roger Balian : de l'atelier familial à la recherche académique.

Entretien par Emanuel Bertrand et Martha Cecilia Bustamante

Entretien réalisé le 1er décembre 2021

Roger Balian, Académie des sciences

Emanuel Bertrand, ESPCI Paris-PSL, laboratoire SPHERE (UMR 7219)

Martha Cecilia Bustamante, laboratoire SPHERE (UMR 7219)

mots-clés en français : histoire de la physique, physique théorique, physique statistique, mécanique quantique, École des Houches

mots-clés en anglais : history of physics, theoretical physics, statistical physics, quantum mechanics, École des Houches

résumé en français : Nous avons réalisé un entretien avec le physicien théoricien Roger Balian (né en 1933), membre de l'Académie des sciences, à propos de son parcours intellectuel dans la communauté académique de la physique française de la seconde moitié du XX^e siècle (et du début du XXI^e siècle). Il en ressort une grande fresque de la reconstruction/institutionnalisation d'après-guerre de la physique théorique française, adossée à plusieurs institutions. L'entretien met notamment en évidence la place importante et singulière de l'École des Houches dans cette reconstruction.

résumé en anglais We interviewed theoretical physicist Roger Balian (b. 1933), a member of the French Academy of Sciences, about his intellectual career in the French physics academic community in the second half of the 20th century (and the early 21st). The result is an overview of the post-war reconstruction/institutionalization of French theoretical physics, supported by several institutions. In particular, the interview highlights the important and singular role played by the École des Houches in this reconstruction.

titre en anglais : « On the path of physicist Roger Balian: from family workshop to academic research. Interview by Emanuel Bertrand and Martha Cecilia Bustamante »

HRC

Commençons cet entretien en partant de votre parcours de vie. Est-ce que vous pourriez nous retracer votre formation scolaire et étudiante, et nous expliquer comment vous en êtes arrivé à faire de la recherche en physique ?

Roger BALIAN

Plusieurs éléments, dans mon enfance, ont joué un rôle dans mon parcours. Mes parents étaient immigrés. Ils étaient arméniens, et avaient pu venir se réfugier en France au début des années 1920 dans des circonstances complexes, à un moment où le génocide n'était pas complètement achevé. Ils ont eu la chance d'être à Constantinople, où la majeure partie des Arméniens a été épargnée. Beaucoup d'arméniens arrivés en



France ne sont pas venus du territoire de l'Arménie turque, où ils étaient majoritaires, tout simplement parce qu'une grande proportion de ceux qui y vivaient ont été exterminés. Le génocide a cependant commencé le 24 avril 1915 à Constantinople par l'arrestation, la déportation et le massacre d'intellectuels, de députés, de prêtres, etc., toute l'*intelligentsia* de la ville. À Constantinople, les musulmans n'étaient pas majoritaires avant la guerre de 1914. La ville était très cosmopolite, avec beaucoup d'occidentaux. Une forte partie de la population était grecque, les juifs étaient nombreux, les Arméniens étaient majoritaires dans certains quartiers. L'Empire ottoman lui-même était multinational, reconnaissant les différentes communautés mais avec des statuts différents. Les églises, les écoles étaient particulières à chaque communauté, et même les affaires judiciaires se traitaient à l'intérieur de chacune, qui avait une vie propre. La communauté arménienne était importante dans l'Empire, et, en 1915, le but des dirigeants a d'abord été de la décapiter, en se débarrassant, à Constantinople, d'une élite d'environ 300 personnes, avant de faire disparaître toute la population. Pendant la guerre de 1914, il y avait des ambassades à Constantinople, en particulier l'ambassade d'Allemagne, qui était celle d'un allié. Les allemands ont contribué au génocide sur le reste du territoire turc, ils ont par exemple aidé à la circulation des trains qui ont servi à déporter les gens jusque dans le désert de Syrie. On les abandonnait pour qu'ils crèvent là ! Mais, à Constantinople, un massacre aurait été trop visible, ce qui a permis à mes parents de survivre. Le génocide a continué massivement partout ailleurs pendant plus de deux ans - sauf à Constantinople et aussi à Smyrne. (Smyrne est un cas particulier puisque le génocide y a recommencé ensuite, au moment de la guerre gréco-turque, en 1922, où la situation a été épouvantable.) Bien que les responsables du génocide aient été condamnés à mort par le gouvernement turc en 1919, ils ont actuellement des monuments en Turquie. Erdogan considère Enver comme un très grand homme, alors qu'il avait été condamné à mort par un tribunal turc. C'est assez remarquable et assez peu connu.

Mes parents se connaissaient déjà un peu par l'intermédiaire de mon oncle maternel qui avait été en classe avec mon père. Ils sont arrivés en France en 1922-1923. À cette époque, un autre type de persécution existait. On envoyait les hommes au service militaire et ils disparaissaient, ce qui a incité mon père, mon oncle, puis la famille de celui-ci, à émigrer. Il y a quatre ou cinq ans, il y a encore eu un assassinat de ce type. En fait, l'idée de génocide n'a jamais vraiment disparu : les rares Arméniens qu'il reste en Turquie sont appelés « les restes de l'épée ». Mes parents sont venus à Paris, puis à Lyon, ils se sont débrouillés. Avec mon oncle, le frère de ma mère, ils ont ensuite fondé une toute petite entreprise d'électricité, où il y avait un atelier. Ceci m'amène à ma formation, dont un aspect consiste à toucher à la matière et aux objets.

HRC

Une sorte de pratique du bricolage ?

Roger BALIAN

Bricolage dans l'atelier, exactement. Par exemple, quand j'avais une douzaine d'années (je suis né à Lyon en 1933), j'aidais à rembobiner des moteurs. À l'époque, pendant la seconde guerre mondiale, et juste après-guerre, tout devait être réparé. Quand un moteur grillait, il n'était pas possible de le remplacer. Dans notre quartier ouvrier et industriel de Lyon, à Vaise, un certain nombre d'entreprises avaient des moteurs à réparer, et l'une des activités de notre entreprise était de les rembobiner. Ce n'était pas de la physique, mais je pense que c'était en germe.

Autre chose a joué aussi un rôle, des graines semées dans l'enfance et l'adolescence. Près de Lyon, se trouve la maison d'Ampère. Une association possède sa maison natale, où il a longtemps vécu. Cette maison a été transformée en un petit

musée, dans lequel le visiteur peut faire des manip sur les forces entre courants parallèles, etc. Il est à Poleymieux, dans les collines au-dessus de Lyon. J'y suis allé plusieurs fois. J'aimais bien. C'était un Palais de la découverte en miniature pour l'électricité, ouvert à tous. C'est différent de la Maison de Pasteur à Arbois, parce qu'on n'a pas ses instruments, mais l'idée est la même. Je fais partie de l'Association des amis d'Ampère, qui édite un bulletin et entretient le musée. C'est une association de scientifiques, pour la plupart, qui font progresser l'endroit.

Je continue, en parlant de mon enseignement secondaire. À l'époque, il faut savoir que Pétain avait modifié les programmes, et, au lycée, il fallait faire du latin. Sans latin, cela s'appelait « l'enseignement moderne », et cet enseignement était prodigué dans des « collèges modernes ». Je suis allé de la sixième à la première dans un collège moderne, après avoir passé une demi-journée dans une école religieuse, d'où ma mère m'a retiré immédiatement parce qu'on lui a dit que l'enseignement n'avait pas changé depuis 50 ans !

À l'époque, il existait, de la sixième à la troisième, des « écoles primaires supérieures » ; elles ont hébergé les collèges modernes récemment créés. Il y avait un examen d'entrée en sixième. À cet âge, on pouvait ainsi aller aux « cours complémentaires » donnés par les écoles primaires supérieures. Ces cours s'arrêtaient au brevet, et avaient une composante artisanale marquée, une composante d'apprentissage. Dans l'enseignement d'un des cours complémentaires, dans mon collège moderne Neyret, il y avait un atelier fer et un atelier bois. Dans l'atelier fer, il fallait apprendre d'abord à limer droit. J'ai toujours regretté que cela n'existe plus aujourd'hui. Ce devrait être obligatoire dans les collèges et lycées. Le mépris de toute l'*intelligentsia* française vis-à-vis du travail manuel est monstrueux. Par exemple, il faut vraiment travailler avec l'intelligence de la main pour arriver à obtenir une surface plane. Je l'ai fait pendant des mois : arriver à faire un parallélépipède plat, avec telle ou telle épaisseur, nécessite une réelle intelligence.

Il n'était question ni de tour ni de fraiseuse, parce que les collèges étaient trop pauvres, mais dans l'atelier bois, j'ai fait des tas de choses intéressantes : apprendre à faire une mortaise, à faire tenir des trucs perpendiculaires, à fabriquer une tirelire, une petite maison en bois. Apprendre à utiliser, ne serait-ce qu'une gouge, n'est pas si évident. Je pense que cela m'a donné le goût des choses concrètes, de la matière, l'envie de comprendre ce qu'est la matière.

Les cours complémentaires s'arrêtaient auparavant au brevet. Mais, comme l'enseignement « moderne » venait d'être créé, et ne pouvait pas avoir lieu au lycée, les écoles primaires supérieures ont été prolongées, à partir de la seconde, en collèges modernes. Beaucoup de mes camarades ont passé leur brevet et sont allés travailler. On s'est retrouvés, en seconde, à une douzaine seulement, avec un enseignement ainsi personnalisé. Le directeur du collège était quelqu'un d'extraordinaire. Il avait gardé ce qu'il y avait de mieux dans la vieille école. Ma fille a eu dans le primaire un directeur du même genre, mais cela s'est fait rare.

HRC

Un hussard de la République ?

Roger BALIAN

Tout à fait, des hussards de la République. Ce directeur du collège est venu nous donner des cours supplémentaires sur la littérature, notamment celle de la première moitié du XVII^e siècle. La manière dont il l'a fait est extraordinaire, et j'aime cette littérature que j'ai découverte grâce à lui. Il avait un tel enthousiasme. Il venait à midi, avant la pause du repas, nous donner des cours. Ses cours sur La Fontaine nous ont



montré que La Fontaine, ce n'était pas simplement de petites fables, mais qu'elles pouvaient avoir un fond terrible. Puis, j'ai eu surtout un remarquable professeur de maths. À l'époque, il préparait l'agrégation, qu'il a fini par passer pour devenir, bien plus tard, professeur au Conservatoire national des arts et métiers. Il avait vu que j'étais doué en maths. Mes parents ne connaissaient pas du tout le système français et il est venu à la maison. C'est quand même remarquable : depuis la Croix Rousse jusqu'à Vaise, il a traversé la moitié de Lyon. Il est venu discuter avec mes parents pour leur dire qu'il existait des Grandes écoles, ce dont mes parents n'avaient jamais entendu parler. Ils avaient fait des études à Constantinople, de bonnes études, mais ils ne connaissaient pas le système français. Alors, il est venu dire qu'il fallait que je continue, quelle était la filière, etc. Je devais être en première.

On habitait dans une maison à deux étages. Il y avait une cour et un petit jardin, avec d'un côté l'atelier et de l'autre la maison. Dans cette maison, la famille de mon oncle et la nôtre vivions ensemble, chaque famille à un étage. J'avais deux cousines, un peu plus jeunes que moi, qui habitent toujours à Lyon. Elles étaient un peu comme des sœurs. Pendant la guerre, on a fabriqué du savon, hébergé des lapins et des poulets, et le jardin a produit des légumes. (La disparition de « ma » poule a, pour moi, été un drame ; on m'a dit que nous mangions du pigeon.)

Ensuite, la guerre, le froid empêchant de bien se soigner, maman a eu une hépatite mauvaise, et elle a souffert d'emphysème. Elle respirait mal à Lyon, qui, à l'époque, était noyée dans le brouillard. On a déménagé pour aller à Nice. Pour ma mère, cela n'a pas été formidable non plus, parce que Nice est située dans une cuvette dont l'air est pollué. J'ai fait une terminale, toujours en section moderne, puis hypotaube et taupe¹ à Nice, au lycée Masséna, un magnifique lycée, l'un des plus beaux lycées de France. Il est d'une très belle architecture, des années 1920, en grosses pierres blanches.

Ensuite, on suit la filière, il n'y a pas de choix. J'ai passé les concours. J'ai réussi à la fois celui de l'École normale supérieure (ENS) et celui de l'X (Polytechnique). J'ai eu l'École normale d'abord. Étant sûr de pouvoir entrer à l'École normale, j'étais très décontracté à l'oral de l'X. (Je vous dirai comment j'ai réussi à perdre de l'ordre de 200 places avec seulement 5/20 à l'oral de physique !) Nos professeurs de taupe, qui avaient été prisonniers ou avaient participé à la Résistance, nous avaient bien préparés. On avait un professeur de philosophie absolument remarquable. J'ai rencontré des camarades de l'époque et, comme moi, ils ont retenu ses leçons. Il avait une façon particulière de faire le cours : il n'y avait ni livre ni note, on parlait avec lui et entre nous. Discussion, maïeutique. Un peu avant le bac, nous étions très affolés, et il nous a donné quelques feuilles résumées pour nous aider, et il nous a dit : « Ne vous en faites pas, vous saurez répondre à toutes les questions qu'on pourrait vous poser, nous en avons discuté ». Préciser les divers sens d'un mot, comme « être », nous a appris à penser. Le programme de logique parlait de déduction, d'induction, et il nous a conseillé d'oublier tout cela. Il nous a dit que, dans la vie, le seul raisonnement que nous rencontrerions serait celui de l'ivrogne :

- Qu'est-ce qu'il fait froid aujourd'hui ! On va prendre un petit coup de rouge, ça nous réchauffera.

- Il y a un beau soleil, mais il fait trop chaud ! Un petit coup de blanc va nous rafraîchir.

- Je suis triste aujourd'hui. Viens, on va noyer ça dans l'alcool.

- Oh, c'est formidable ce qui t'est arrivé ! On va arroser ça !

¹ Note de la rédaction (NdIR) : « Hypotaube » et « taupe » sont les noms familiers donnés respectivement aux classes de mathématiques supérieures et de mathématiques spéciales.

Il nous a dit : « 95 % des raisonnements que vous entendrez pendant toute votre vie seront de ce type ». Alors, quand on entend les politiciens ! C'est drôle : il nous a raconté ça d'une telle façon que lorsqu'on s'est revus bien plus tard, on s'en souvenait tous. C'était une leçon à tirer du cours de logique !

PHOTO RBalian1

De la marmite de Papin à l'École Polytechnique

HRC

A l'époque, est-ce qu'il y avait déjà une distinction entre des maths spé (mathématiques spéciales) à dominante mathématique et des maths spé à dominante physique ?

Roger BALIAN

Non, il n'y avait pas de dominante physique. Le programme de physique était très mauvais, désuet, mais le prof n'était pas mauvais. Par exemple, c'est lui qui m'a permis de perdre toutes ces places à l'oral de l'X ! Il nous avait dit avant les oraux que l'examineur avait des dadas, qu'il ne connaissait rien en physique, qu'il voyait les choses de façon tordue. Il nous avait dit : « Il aime bien poser la question : "démontrez-moi la loi d'Ohm" ; mais pour lui, afin de démontrer la loi d'Ohm, il veut que l'on pose la loi de Joule et ensuite, à partir de cette loi, que l'on déduise la loi d'Ohm. » Il avait expliqué que c'était absurde parce que la loi fondamentale, c'est la loi d'Ohm et la loi de Joule n'en est qu'une conséquence. D'ailleurs la loi de Joule n'est pas valable quand il y a des effets thermoélectriques. Je suis donc tombé sur ça, et j'ai expliqué qu'il y avait deux façons de répondre, la bonne et la mauvaise, ce qui a choqué l'examineur. Puis, après, il m'a demandé de montrer (« puisque vous êtes malin ») comment je pouvais inventer quelque chose : « On vous a appris qu'il y avait la chaleur spécifique à volume constant et à pression constante. Faites-moi la transposition de cette théorie pour l'ébullition ». Je lui ai dit qu'à une température donnée, une ébullition ne peut avoir lieu qu'à pression constante, il n'y a pas le choix. Il est venu au tableau me faire un beau dessin en disant : « Regardez, on prend un thermostat, on le fixe à la température donnée. On enferme le fluide dans un cylindre avec un piston pour fixer soit sa pression soit son volume. Ensuite, on fournit de la chaleur à ce liquide et avec ce dispositif on peut avoir une ébullition à température et volume constants ». Je lui ai répondu : « ça s'appelle une marmite de Papin, et ça pète si on chauffe trop en fixant le volume ». Cela ne lui a pas tellement plu. Il faut dire aussi qu'à l'époque, les taupes de province n'étaient pas nombreuses, mais nous avons quand même été quatre à intégrer l'X cette année-là. L'un au moins de nos profs, sinon les deux, venaient nous accompagner pour les oraux, à Paris. Ils chouchoutaient leurs élèves. Mon prof de physique, présent à cet oral, en a rendu compte dans *le Bulletin de l'union des Physiciens*, en reproduisant la question de l'examineur et en écrivant qu'il n'avait même pas compris que la chaleur d'ébullition ne peut être définie qu'à pression constante. Il paraît qu'il a continué à être examinateur, mais pas très longtemps.

HRC

Vous étiez insolent ?



Roger BALIAN

Je voulais m'amuser, décompresser après la tension des examens, et je me fichais des réactions de l'examineur parce que j'étais sûr d'aller à l'ENS : j'avais eu les résultats deux jours avant. Ensuite, cela s'est passé autrement, et je me suis finalement retrouvé à l'X parce que je suis allé voir le directeur de l'École normale supérieure pour savoir si, à la sortie de l'ENS, je pourrais faire de la recherche en physique ; j'en avais déjà envie. Je commençais à bien aimer la physique, parce que mon prof de taupe parlait parfois un peu dans tous les sens, mais était souvent passionnant. Il n'avait pas eu le temps de préparer personnellement tout le programme après son retour de captivité. Les cours qu'il avait pu approfondir m'avaient beaucoup intéressé, alors qu'il n'y avait rien à tirer des livres. Pour montrer l'état dans lequel était l'enseignement à l'époque, en 1951-52, le programme de chimie comprenait les « lois des proportions définies », les « lois des proportions multiples », etc. Puis, tout à la fin, il y avait « l'hypothèse » atomique, qui permettait d'expliquer tout cela. C'était le programme. Il datait de Marcellin Berthelot, qui l'avait imposé en tant que ministre de l'Éducation, parce qu'il ne croyait pas à l'existence des atomes. Et ça a duré jusque-là. C'est hallucinant.

HRC

On était pourtant longtemps après les travaux de Jean Perrin sur les atomes, presque cinquante ans après.

Roger BALIAN

Il y avait les « lois de la chimie » : la loi des « proportions définies » pour fabriquer un corps composé, la « loi des proportions multiples » reconnaissant l'apparition de nombres entiers dans les réactions. Mais on ne voyait pas d'où ça sortait. C'est seulement ensuite qu'il y avait un petit truc dans le programme sur l'hypothèse atomique. La doctrine anti-atomiste primait en chimie, même après les expériences de Jean Perrin. A l'époque, c'était comme ça.

Une formation en physique entre tradition et innovation

HRC

Et en physique, est-ce qu'on vous parlait de la mécanique quantique ?

Roger BALIAN

Non, bien sûr que non ! Même pas des atomes ni de leurs noyaux. C'était la vieille physique du XIX^e siècle. C'était même pire. Même à l'X, que j'avais finalement intégrée, il n'y avait dans le cours de Jean Vignal que la physique d'avant 1850. Il n'y avait même pas de théorie cinétique des gaz.

HRC

Il s'arrêtait à la mécanique macroscopique ? Rien sur les travaux de James Maxwell et Ludwig Boltzmann ?

Roger BALIAN

Non, aucune théorie cinétique. Seulement de la thermodynamique macroscopique, avec une présentation d'ailleurs mal fichue. J'ai découvert, beaucoup plus tard, la présentation de Herbert Callen, la seule qui tienne debout. Il y avait pas mal d'optique, aussi bien en taupe qu'ensuite à l'X. J'ai eu la chance que ledit Vignal soit devenu directeur des études pendant ma scolarité à l'X et que son cours de deuxième année ait



été remplacé en catastrophe par trois cours plus brefs, qui ont été bricolés avec trois enseignants différents. Ces trois cours étaient un peu moins désuets que celui de Vignal, qui était franchement mauvais. Dans le premier cours d'électromagnétisme, de Marc Jouguet, on commençait à subodorer que la relativité restreinte avait quelque chose à y voir, ce qui n'est déjà pas mal. Ensuite, il y avait un cours de Charles Peyrou. Il était expérimentateur au Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN), et il nous a donné des rudiments de microphysique, par exemple la première théorie de Bohr de l'atome. On en était encore là, avec de vagues bribes de mécanique ondulatoire. Le troisième cours était donné par Claude Brachet, ingénieur dans les télécommunications. Il était confus, mais il était assez remarquable qu'en 1953, ce cours ait abordé la question des semi-conducteurs.

HRC

Un cours avec un peu de physique des solides ?

Roger BALIAN

Non seulement un peu de physique des solides de l'époque, mais aussi une préfiguration de la suite. Les transistors n'existaient pas encore, mais on n'en était pas loin. Brachet s'était rendu compte qu'il y avait quelque chose de nouveau du côté des semi-conducteurs, sur lesquels il nous a donné un certain nombre de leçons. Il y avait déjà les porteurs « plus » et « moins ». Mais c'était un cours assez incompréhensible. J'ai eu la chance, à l'X, d'avoir au moins ça.

HRC

Nous vous avons interrompu à propos du directeur de l'École normale supérieure...

Roger BALIAN

Oui, c'est parce que je suis allé voir le directeur de l'École normale que je me suis retrouvé à l'X. Ce directeur était Jean Hyppolite, philosophe, et il m'a dit qu'il n'était pas question de sortir de l'école sans être enseignant. Il fallait passer l'agrégation et devenir enseignant dans le secondaire ou le supérieur. (En réalité, ce n'était pas obligatoire en sciences...) Moi, je voulais tout sauf ça, à l'époque. Je ne me rendais pas compte qu'il était agréable d'enseigner. J'ai donc décidé d'aller à l'X. Je n'étais pas encore très sûr de faire de la recherche en physique, mais c'était de ce côté-là que j'envisageais la suite. Être ingénieur m'aurait bien plu aussi, à cette époque.

Après, je suis sorti premier de l'X, donc je suis entré au corps des Mines. C'était presque automatique. Le directeur de l'École des Mines était Raymond Fischesser ; il a joué un rôle très important dans l'orientation des élèves-ingénieurs des Mines vers la recherche. Je ne suis pas le seul, un tas de gens sortis de l'X et du corps des Mines ont été aidés par lui dans ce sens. Pour moi, il m'a demandé de passer formellement des examens pour devenir Ingénieur des Mines. Il fallait en particulier que je suive le cours d'économie de Maurice Allais ; il était très mathématique et centré sur la concurrence parfaite. Il fallait aussi que je passe des examens en exploitation des mines, en « machines » et en cristallographie (où je n'ai eu à reconnaître que des cristaux très simples !). J'ai suivi ces quelques cours à l'École des Mines, mais aussi en même temps à la faculté. Le plus utile a été le cours du mathématicien Laurent Schwarz sur l'application des maths à la physique. J'ai donc passé en parallèle un bout de licence en sciences.

J'ai aussi suivi à la fac un cours de Gustave Choquet. Celui-ci avait été mon examinateur à l'oral de maths du concours d'entrée de l'École normale supérieure, oral qui avait été marrant. Il m'a posé un truc disant : « Voilà une série de terme général xxx.

Est-ce que vous pourriez la resommer ? » J'ai pataugé. Mon prof de maths de taube était là. À la fin, il va voir Choquet et lui dit : « J'ai essayé de répondre à votre question, je ne vois vraiment pas comment on peut arriver à sommer cette série ». Choquet lui dit : « Ne vous en faites pas, moins non plus, mais il s'est très bien défendu ». C'était le style caractéristique des oraux de l'École normale supérieure : voir comment on essaye de se débrouiller face à un problème nouveau.

Polytechnique ou École normale supérieure : un choix assumé

HRC

Vous n'avez jamais regretté d'avoir choisi Polytechnique plutôt que l'École normale supérieure ?

Roger BALIAN

Non, pas vraiment. Je l'ai un peu regretté plus tard parce que je me suis rendu compte que dans la même promo que moi ou dans les voisines, il y aurait eu les futurs physiciens Philippe Nozières, Pierre-Gilles de Gennes, Claude Cohen-Tannoudji. J'aurais pu les connaître déjà à l'École normale supérieure.

À la fin de mon service militaire, en 1955, a eu lieu la première conférence internationale sur les applications pacifiques de l'énergie nucléaire. Pendant cette conférence, il y avait eu à Genève une grande exposition sur les réacteurs nucléaires. Je l'avais visitée et elle m'avait frappé : cela avait contribué à mon attirance pour la physique. C'était avant que j'aille à Saclay. La première centrale électronucléaire au monde ayant produit de l'électricité sur le réseau était en Russie. C'est une chose qui touchait les communistes. Comme le raconte Anatole Abragam dans son livre « *De la physique avant toute chose*² », il y avait de nombreux expérimentateurs communistes en physique des particules, et tout un groupe est allé dans un labo en Russie. Ils s'y sont installés pendant deux ans avec leurs familles pour travailler avec les Russes. C'étaient des communistes purs et durs, mais j'en ai connu qui sont revenus désillusionnés.

Ensuite, Fischesser, le directeur de l'École des Mines, m'a dit que si je voulais faire de la recherche, il fallait aller trouver un chercheur qui pourrait me proposer un sujet d'étude. Il m'a donné deux noms, des ingénieurs des Mines d'une génération avant la mienne. L'un était Jacques Friedel et l'autre était Claude Bloch. Je suis allé les voir et nous avons discuté. Friedel, à l'époque, venait juste de déménager à Orsay. Claude Bloch était à Saclay, il venait d'entrer au Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). Comme tous ceux de leur génération, ils avaient été formés à la recherche à l'étranger, parce qu'en France, la physique théorique de notre siècle était inconnue. Le sujet que Claude Bloch m'a proposé m'a semblé plus simple que celui de Friedel. J'ai compris plus tard que ce que m'avait proposé Friedel avait donné naissance aux « oscillations de Friedel », l'une de ses grandes découvertes. Ça ne fait rien, je suis toujours resté proche de Friedel, bien que je sois allé chez Claude Bloch.

J'ai commencé à fréquenter le labo du CEA de Saclay, où il se trouvait. Là, une première formation à la recherche était toute trouvée parce qu'il y avait les cours remarquables donnés à l'Institut national des sciences et techniques Nucléaires (INSTN), les cours d'Albert Messiah, de Claude Bloch, de Jules Horowitz, d'Anatole Abragam, d'André Herpin, de Michel Trocheris, des cours de base de physique moderne

² NdIR : Anatole Abragam, *De la physique avant toute chose*, Paris, Odile Jacob (1987).



qui n'existaient nulle part ailleurs. Messiah, en élaborant ensuite son livre de mécanique quantique³, a testé sur moi tous ses exercices.

HRC

Comment expliquez-vous, d'ailleurs, que l'enseignement universitaire de la physique fût alors aussi désuet ?

Roger BALIAN

C'est facile à comprendre ! La physique théorique, depuis la deuxième moitié du XIX^e siècle, était dans un état de délabrement en France, pour plusieurs raisons. Il y a des raisons philosophiques, en raison de l'accent mis sur le côté expérimental, purement phénoménologique : la physique était considérée comme un catalogue de petits trucs, comme le montre le vaste traité en 45 volumes (1912-1934) de Henri Bouasse, alors célèbre. Expliquer les propriétés des gaz par la théorie cinétique était rejeté parce que la physique était considérée seulement comme une science d'observation et qu'on n'avait pas encore observé les molécules (et même ensuite !). Puis, il y a eu le côté « physique allemande » de la physique théorique moderne. Boltzmann, Einstein, c'était considéré comme de la physique allemande, donc suspecte. Le délabrement avait commencé très tôt. Il suffit de regarder les noms des professeurs de l'X pendant la deuxième moitié du XIX^e siècle.

Quelques figures marquantes de la physique française avant la seconde guerre mondiale

HRC

Il y a quand même eu Henri Poincaré, en France.

Roger BALIAN

Oui, mais Poincaré était autant mathématicien que physicien. À Nancy, un colloque a été organisé en 2012 pour commémorer le centenaire de son décès. On m'a demandé de faire un exposé sur Poincaré et la physique. Étant sorti premier de l'École Polytechnique, j'avais reçu comme prix les œuvres complètes de Poincaré, gardées dans un coin de notre bibliothèque, derrière une petite lampe. J'ai épluché ça, et un point étrange m'a frappé. Poincaré a évidemment été un grand physicien. C'est lui qui est, par exemple, parmi de nombreux apports, à l'origine de la théorie du chaos déterministe.

HRC

Le problème à trois corps, c'est lui.

Roger BALIAN

Le problème à trois corps, bien sûr, et bien d'autres choses ! Mais en ce qui concerne la relativité, par exemple, il a eu une attitude tout à fait remarquable. C'est net, même pour la relativité générale : il y a une préfiguration de la relativité générale dans ce qu'il a écrit. Il imagine que les trajectoires de la lumière sont courbées. Il dit alors que si jamais les lois de l'optique ordinaire étaient ainsi violées, elles pourraient l'être pour deux raisons différentes. Ou bien un phénomène physique se produisant dans l'espace ordinaire serait cause de la violation. Ou bien il faudrait modifier la géométrie. À l'époque, il parlait de géométrie de Lobatchevski, alors plus célèbre que celle de Riemann. Il

³ NdIR : Albert Messiah, *Mécanique quantique*, 2 volumes, Paris, Dunod (1959).

disait : si notre univers était soumis à la géométrie de Lobatchevski, et non pas à la géométrie euclidienne, on pourrait peut-être expliquer une courbure des rayons lumineux, mais une explication plus commode – et le mot « commode » revient souvent chez lui – consisterait à conserver la géométrie euclidienne et à modifier les lois de la physique. Quelques années plus tard, Einstein construisait la relativité générale en la faisant reposer à l'inverse sur une nouvelle géométrie de l'espace-temps.

Pour la relativité restreinte, c'est un peu pareil. Poincaré, tout en ayant fait progresser la théorie de Lorentz, trouvait plus « commode » de continuer à admettre l'existence d'un « éther », repère absolu, plutôt que de considérer comme Einstein tous les repères de Lorentz comme équivalents. Lors du colloque de 2012, le mathématicien Pierre Cartier a noté, après mon exposé, que c'était non seulement en physique mais aussi en maths que Poincaré n'était pas toujours allé jusqu'au bout de ses idées. Il a comparé Poincaré à quelqu'un qui arrive devant un château avec un grand portail fermé : Poincaré ouvre le portail, mais n'entre pas lui-même, tout en aidant ses successeurs à y entrer. C'est assez amusant.

Il y a eu aussi bien sûr Paul Langevin comme grand physicien théoricien français. Mais c'est l'expérience qui dominait la physique française entre 1860 et 1945. Il y a eu le magnétisme. Il y a eu l'optique. Il y a eu Jean Perrin et ses expériences. Il y a eu la radioactivité naturelle, puis artificielle, mais guère de physique nucléaire théorique. J'ai lu un article expérimental de 1935 ou 1936 par Joliot, sur les collisions de particules avec spin. Il a fait des mesures, manipulé des noyaux orientés, mais visiblement n'avait pas compris ce qu'était le spin.

HRC

Le premier qui s'intéresse à la physique quantique en France est probablement Louis de Broglie, n'est-ce pas ?

Roger BALIAN

Le premier mais presque le seul, ce qui est dramatique. De Broglie est l'un des créateurs majeurs de la « physique ondulatoire », pas encore appelée « quantique ». Mais il a fait beaucoup de mal. Après cette percée extraordinaire, pendant toute sa vie, il a freiné des quatre fers sur l'interprétation de la théorie, parce qu'il voulait absolument qu'elle décrive des objets individuels et non des ensembles statistiques d'objets. Il ne voulait pas du côté probabiliste, qui est pourtant fondamental en mécanique quantique. L'un de ses livres s'appelle « *La Thermodynamique de la particule isolée*⁴ ». Il a créé une école autour de lui, qu'il a stérilisée. Ses cours à l'université étaient les seuls cours de mécanique ondulatoire. Je n'y suis jamais allé. Il ne tenait pas compte des immenses progrès de la théorie quantique, et poussait les gens vers l'interprétation dite de Broglie-Bohm. C'était une espèce d'idée fixe. Le premier cours de mécanique quantique en France est celui de Messiah. Il n'y en pas eu d'autre avant.

Léon Brillouin a certes contribué de façon majeure à la mécanique quantique, mais il a quitté la France, il est allé se réfugier aux États-Unis en 1940, comme Pierre Auger, expérimentateur. Il a même été stupidement repoussé de France, pas vraiment chassé, mais... Il devait revenir au Collège de France, et, finalement, cela ne s'est pas passé. Il y a quelques autres contributions à la mécanique quantique avant la guerre, comme celles d'Alexandre Proca. On les compte sur les doigts d'une main.

⁴ NdIR : Louis de Broglie, *La Thermodynamique de la particule isolée (ou Thermodynamique cachée des particules)*, Paris, Gauthier-Villars (1964).

Entre CNRS et CEA : transformations de la physique française après 1945

HRC

Est-ce que le CNRS a changé un peu la donne par rapport à l'Université ?

Roger BALIAN

Le CNRS, c'est plus tard. Le CNRS n'existait pas avant la guerre⁵ et s'est considérablement développé ensuite. Par ailleurs, à partir de 1944, parmi ceux qui ont été embauchés dans d'autres organismes que le CNRS, un certain nombre de personnes sont entrées directement en physique théorique au CEA, qui, dès le départ, a joué un rôle important. D'abord sont arrivés ceux qui étaient partis se former à l'étranger. Bloch, Messiah, Horowitz, Abragam, etc., se sont retrouvés au CEA et ont donné ces fameux cours à l'INSTN, cours qui ont formé ceux de la génération suivante. Alfred Kastler est venu suivre les cours de Messiah, apprendre la mécanique quantique aux cours de Messiah, amené en voiture de Paris par Claude Cohen-Tannoudji. Le grand Kastler ! C'est remarquable. Kastler était plus expérimentateur que théoricien, mais il avait la volonté d'apprendre la physique théorique, et il s'est bien rendu compte qu'il ne pourrait pas trouver ça à Paris.

HRC

Vous vous retrouvez au CEA, surtout parce que vous avez fait le choix de Bloch au lieu de Friedel. C'est contingent. Ce n'est pas un choix de carrière au CEA plutôt qu'ailleurs.

Roger BALIAN

Non, pas du tout. C'est en effet purement contingent. Je suis resté d'ailleurs en relation avec André Blandin en particulier, qui était l'élève préféré de Friedel, et qui est mort très jeune. Mais je n'ai jamais passé de thèse à l'université. Je n'en avais pas besoin : tellement peu de gens voulaient faire de la physique, par rapport au nombre de postes créés au lendemain de la guerre, où tout était à construire. J'ai été embauché sans thèse. Tout de suite après le diplôme qui m'avait fait entrer au corps des Mines, j'ai été détaché au CEA. Je ne suis pas le seul. André Morel et d'autres n'ont jamais passé de thèse. Marcel Froissart a dirigé des thésards sans avoir de thèse.

PHOTO RBalian2

HRC

Par la suite, on ne vous a pas demandé de passer une thèse d'État ?

Roger BALIAN

Philippe Nozières me poussait toujours. Il disait : « Ce n'est pas difficile. Tu prends par exemple ta série d'articles sur la relation entre classique et ondulatoire et tu nous offres un pot ! » J'aurais pu le faire, mais je ne l'ai jamais fait. Par la suite, j'ai souvent aimé changer de sujet. Il y a des gens qui sont papillons comme moi, et puis il y a des gens qui creusent.

⁵ NdIR : le CNRS a été créé en 1939, juste avant le déclenchement de la seconde guerre mondiale.

HRC

Vos premiers thèmes d'intérêt dans la physique ont-ils tout de suite été centrés sur la physique statistique ?

Roger BALIAN

Non. Il y avait au CEA une ambiance nucléaire. J'étais entré, à Saclay, au SPM (Service de physique mathématique). Ce service avait été créé à l'intérieur du Département d'étude des piles (nucléaires), qui était dirigé par Jacques Yvon. Beaucoup plus tard, j'ai fait les « petites classes » d'Yvon (travaux dirigés), à la fac, où il était professeur de mécanique statistique. C'était de la physique statistique classique à la Yvon. On écrivait séparément la composante x , la composante y , la composante z au lieu de sommer sur un indice. C'était assez marrant. À mon arrivée au CEA, Yvon dirigeait donc le Département d'étude des piles, et Horowitz le SPM. Celui-ci contenait deux groupes de personnes, ceux qui faisaient des calculs de piles nucléaires - Horowitz a été le créateur de la physique des réacteurs - et ceux qui faisaient de la recherche fondamentale et occasionnellement des trucs appliqués, mais cela les intéressait moins. Abragam a fait des calculs pour préparer la construction d'accélérateurs à Saclay. Horowitz lui-même, au tout début, a été un peu à cheval sur les deux, mais, très vite, il a cessé d'écrire des articles de physique pure, se concentrant sur la physique des réacteurs. Bloch, très vite, s'est mis à la théorie des réactions nucléaires. Il m'a branché là-dessus dès mon arrivée. Mes premiers articles concernent la structure des noyaux et l'étude de certaines réactions nucléaires.

J'ai laissé un peu tomber la théorie des réactions parce qu'elle supposait des calculs numériques lourds. À l'époque, le SPM avait un ordinateur, un Ferranti : plein d'armoires bourrées de lampes, dans une grande pièce. C'était moins efficace qu'une calculette actuelle. Le moindre calcul d'intégrale, commandé par des cartes perforées, prenait des heures. Il fallait passer la nuit à côté, parce que, le jour, la machine servait aux calculs de réacteurs nucléaires, et les calculs de physique théorique, non prioritaires, étaient faits pendant les heures creuses, la nuit. Ce n'était pas drôle. Je n'ai jamais tellement aimé le numérique.

J'ai glissé vers la mécanique statistique en même temps que Bloch, parce que le formalisme quantique pour décrire les noyaux, objets à N corps, commençait à ressembler à celui de la mécanique statistique. L'un de mes premiers papiers, par exemple, était de calculer la densité d'états excités de gros noyaux à partir d'une fonction de partition. C'est le glissement vers la mécanique statistique.

HRC

Quand se fait la transition depuis la période ancienne de délabrement de la physique théorique française ? Quand se relève-t-elle ?

Roger BALIAN

Il y a déjà des bouts de relèvement, bien sûr, au début du XX^e siècle, avec Poincaré, Langevin ou de Broglie. Plus tard, quelques progrès dans les années 1930, surtout juste avant la seconde guerre mondiale. Mais c'est après celle-ci que les choses ont vraiment bougé en physique théorique.

HRC

Ce n'est pas un hasard si le CNRS est créé en 1939. Il y a une effervescence.



Roger BALIAN

La renaissance de la physique théorique en France, à cette époque, a été coupée par l'assassinat par les nazis de plein de gens hyper doués, qui commençaient à travailler principalement à l'ENS, toute une série de jeunes physiciens dont on connaît les noms à travers les prix créés par Langevin à leur mémoire. Son gendre Jacques Solomon, l'un des premiers jeunes chercheurs français ayant contribué à la théorie quantique des champs, en fait partie ; il a été fusillé comme Résistant. Ensuite, le vrai départ vient de la génération qui, à la fin de la guerre, achevait ses études en France et a dû partir à l'étranger pour se former à la recherche en physique théorique.

HRC

Principalement aux États-Unis ?

Roger BALIAN

Oui, mais pas seulement. Horowitz par exemple n'a pas pu aller aux États-Unis parce qu'il avait été considéré par les Américains comme communiste. Il est allé à Copenhague. Cécile DeWitt est d'abord partie dans divers pays avant de se fixer aux États-Unis⁶. Abragam est allé à Oxford. Engagé dans le France Libre pendant la guerre, Messiah est parti à Rochester, dans l'État de New York.

La construction d'une communauté de physiciens en France après la guerre**HRC**

Tous ces gens qui vont se former à l'étranger reviennent, d'après vous, avec la volonté d'institutionnaliser la physique française ?

Roger BALIAN

Oui, avec la volonté de continuer leur recherche en France, et de créer une communauté de théoriciens en France. Presque tout le monde est parti à l'époque, mais peu sont restés à l'étranger, en dehors de Cécile DeWitt. Il y a eu Brillouin, mais il était de la génération précédente. En dehors des théoriciens du CEA que j'ai cités, Louis Michel, Jacques Friedel ou Maurice Lévy ont tous été formés à l'étranger, et ont ensuite encadré de plus jeunes chercheurs. Je crois que Louis Michel a bien connu Proca. Il est allé à Manchester, Copenhague et Princeton.

HRC

Vous avez fait allusion à une question qu'il nous tenait à cœur d'aborder, celle de la politique. Est-ce qu'une grande partie de la communauté des physiciens était proche du Parti communiste, comme Paul Langevin ou Frédéric Joliot ?

Roger BALIAN

Au Parti communiste, pas forcément, mais de gauche, certainement. J'en connais très peu qui n'étaient pas de gauche. Il y avait aussi, parmi les physiciens, des gens qui n'étaient pas franchement politisés, mais qui étaient de coloration catholique de gauche.

Mais c'est vrai qu'il y avait quand même un certain nombre de communistes dans mon labo, comme Cirano De Dominicis. Certains le sont restés longtemps. Dans son

⁶ Roger Balian, "Cécile DeWitt-Morette", *Physics Today*, 71 (2), 64–65 (2018). <https://doi.org/10.1063/PT.3.3853>

livre « *De la physique avant toute chose* », Abragam raconte bien tout cela. Le fait que Frédéric Joliot soit communiste l'a aidé à organiser des voyages en URSS pour un certain nombre de physiciens, ce qui les a aidés dans leurs recherches.

HRC

Vous avez croisé Joliot ?

Roger BALIAN

Je l'ai entrevu, ainsi qu'Irène Joliot-Curie. On voyait le Haut-Commissaire à l'Energie Atomique quand on était embauché. Mais, lors de mon arrivée au CEA, il avait été remplacé dans cette fonction par Francis Perrin. C'est donc celui-ci qui m'a reçu quand j'ai signé mon contrat. Il était très agréable, sympathique, mais a été moins actif que Joliot.

HRC

Vous n'avez pas mentionné Louis Leprince-Ringuet.

Roger BALIAN

Leprince-Ringuet, c'est autre chose. C'est la physique expérimentale. Il fait partie de la génération d'avant, celle qui a beaucoup aidé toute cette jeune génération dont je parlais à se fixer en France et qui lui a fourni un cadre institutionnel. Leprince-Ringuet, avec son laboratoire sur les rayons cosmiques, a rassemblé ceux qui étaient attirés par l'expérimentation sur la physique des particules (Bernard Grégory, etc.). Il a eu le mérite d'avoir créé ce labo et d'avoir découvert des tas de jeunes. Il a eu également le mérite de créer l'enthousiasme chez les élèves de l'X malgré le contenu imparfait de son cours, qui n'était pas mauvais, mais superficiel. Il a eu un autre mérite : il s'est rendu compte que son cours était superficiel et il s'est fait remplacer par Grégory, ce qui est remarquable.

En physique nucléaire expérimentale, un rôle similaire a été joué par Frédéric et Irène Joliot-Curie, notamment auprès des jeunes femmes. Yves Rocard a également rassemblé beaucoup de jeunes, aux labos de l'École normale supérieure.

HRC

C'étaient des expérimentateurs ?

Roger BALIAN

Oui, c'étaient des expérimentateurs. Quels ont été les autres grands opérateurs seniors ayant relancé la physique ? Alfred Kastler, avec Jean Brossel, qui l'a rejoint juste après, eux aussi à l'École normale supérieure. Il y a eu Pierre Auger. Il y a eu bien sûr Louis Néel, qui a pris sous son aile Cécile DeWitt et l'a beaucoup aidée au moment de la création de l'École des Houches, et également par la suite.

En ce qui concerne la physique, l'Institut Henri Poincaré (IHP) était à l'époque en décrépitude. Normalement, il devait être à la fois dédié à la physique et aux maths. Il continuait son excellence en maths, mais en physique il était à l'abandon. (Il a été remonté en physique plus tard, vers 1980.) Nous étions allés avec Bloch à l'IHP. Il y avait à l'époque un personnage au dernier étage, qui était le bibliothécaire. Ce bibliothécaire, physicien, Jean Langevin, qui était un fils de Paul, veillait comme sur la prunelle de ses yeux sur sa bibliothèque. Nous avons voulu regarder des papiers mathématiques qui ne se trouvaient que là. Nous avons été surveillés de près pour être sûr qu'on ne piquerait pas la revue en question.



J'ai aussi été, à un moment donné, en même temps que Jean Langevin, membre de la commission des publications de la Société française de physique qui éditait le *Journal de physique*. (Maintenant, c'est fini parce qu'il a été racheté par les Chinois.) Lors d'un conseil d'administration, s'est posée la question : est-ce que l'on admet que les Français puissent publier en anglais dans ce journal afin d'être mieux lus ? Jean Langevin a menacé de démissionner si jamais le conseil acceptait. On a discuté. Le conseil était présidé par André Herpin, qui était physicien des solides à Jussieu. Celui qui avait le plus de poids, comme d'habitude, était Friedel. Il a pesé le pour et le contre, et on a voté pour l'admission de l'anglais. Le vote était pratiquement unanime, sauf bien sûr Langevin. Herpin lui a dit : « Monsieur, à la suite de ce vote, je dois prendre acte de votre démission ». Il s'est levé et il est parti. J'ai eu des contacts avec d'autres Langevin. Je connais bien Hélène Langevin-Joliot-Curie, physicienne nucléaire. On finit toujours par rencontrer des Langevin.

La contribution majeure de l'École des Houches à la physique française

HRC

On peut passer à ce qu'a été pour vous l'expérience de l'École des Houches et à ce qu'elle a représenté pour l'ensemble de la communauté des physiciens.

Roger BALIAN

Depuis 1951, l'École des Houches joue un rôle essentiel dans la formation des physiciens français. Au cours des premières années, il s'agissait de donner aux chercheurs débutants une formation de base afin de remédier aux défaillances de l'université. Ensuite et jusqu'à aujourd'hui, les sessions de l'École se sont spécialisées progressivement en accord l'évolution des besoins, tout en conservant un caractère pédagogique marqué. Pratiquement tous les physiciens français sont passés à un moment ou un autre par Les Houches.

J'y suis allé la première fois en 1958, comme élève, et c'est ce qui m'a fait vraiment me plonger dans la mécanique statistique. C'était une session organisée par Philippe Nozières, qui était tout jeune à l'époque. L'idée de Cécile DeWitt était de prendre quelqu'un de plus jeune comme directeur scientifique, lors de chaque session, pour choisir les enseignants et organiser la session, en le déchargeant des tâches administratives. Nozières était le directeur scientifique de la session de 1958. Cette session a joué un rôle tout à fait essentiel pour moi, parce que c'est là que j'ai vraiment appris quelque chose de plus que la seule mécanique quantique de base et de ce que nous trouvions dans les livres. C'était en direct. La session durait deux mois à l'époque et c'étaient vraiment des cours intensifs. Il y avait dix séances environ pour chaque cours, s'étendant sur deux semaines. Il y avait donc huit enseignants dont chacun logeait sur place quinze jours. Ils nous aidaient à assimiler leurs cours. Certains restaient même plus que leurs quinze jours. On avait sous la main des grands ! Deux cours étaient donnés par des Russes. Keith Brueckner faisait un cours de physique nucléaire en tant que problème à N corps, John Schrieffer (prix Nobel de physique en 1972) sur la supraconductivité. Sur la supraconductivité, il y avait aussi Leon Cooper (lui aussi prix Nobel de physique en 1972). C'étaient les débuts de la supraconductivité. Ça a été pour tous les élèves une expérience unique. Les cours existent encore, ils sont publiés. Ils racontaient des choses qui avaient été de la recherche peu d'années auparavant, mais mises en forme par les plus grands. L'une des grandes idées de Cécile DeWitt était de faire faire les choses les plus élémentaires possibles par les gens les plus extraordinaires possibles.



PHOTO LES HOUCHES

HRC

C'est elle qui a eu cette idée de l'École des Houches ?

Roger BALIAN

Oui, Cécile DeWitt a créé l'École des Houches. C'est une histoire qu'elle m'avait racontée et qui est maintenant bien connue. Cécile était de Caen. En 1944, peu après le débarquement, il y a eu le bombardement de Caen. Elle passait alors un oral à l'université de Paris et pendant ce temps, sa famille s'est retrouvée sous les bombes. Elle apparaissait comme très douée dans le système français, et peu de temps après, elle a eu une bourse pour aller à l'étranger, une bourse qui lui avait été trouvée par Joliot. Elle racontait que, lorsqu'elle était arrivée en Angleterre, le statut de cette bourse n'était pas très clair. On ne savait pas très bien si elle était étudiante ou si elle était quelqu'un d'éminent. Elle avait donc été reçue par de grands physiciens. Mais en discutant physique avec eux, elle a découvert qu'elle ne comprenait rien, alors qu'elle avait appris tout ce que l'on pouvait apprendre dans le système français. Cela l'a traumatisée. Elle a commencé à s'initier à la physique moderne en Angleterre, en Irlande et au Danemark. Ensuite, elle est partie aux États-Unis pour compléter sa formation. Aux États-Unis, elle a rencontré Bryce DeWitt. DeWitt était très grand et avait beaucoup de charme. Il racontait que sa grande taille l'avait empêché de devenir astronaute comme il le souhaitait. On lui avait dit que ce ne serait pas possible. C'est pour cela qu'il avait fait de la physique. Leur rencontre a été une histoire formidable. Au bout de très peu de temps, Bryce DeWitt lui a demandé si elle acceptait de l'épouser. Mais comme elle était hyper carrée et hyper patriote, et qu'elle ne souhaitait pas quitter complètement et définitivement la France, elle a dit à Bryce : « Je t'épouse, à condition de faire quelque chose pour la France ». Elle a eu alors l'idée, ayant été marquée par la différence de niveaux entre l'enseignement de la physique en France et ailleurs, de créer quelque chose qui était la préfiguration du troisième cycle universitaire. Ça a été la première école d'été de physique qui ait été créée. Elle avait beaucoup d'énergie. Elle était petite, menue, très dynamique, avec des yeux qui perçaient. Quand elle vous regardait, vous ne pouviez pas résister. Elle a réussi, en très peu de temps, à monter cette École en 1951, depuis le financement jusqu'au choix des enseignants et élèves, et à se marier, bien sûr, parce que c'était la condition qu'elle avait posée : l'École des Houches. Cela lui permettait aussi de revenir tous les ans en France.

HRC

Elle vivait aux États-Unis ?

Roger BALIAN

Oui, elle a vécu aux États-Unis, mais elle a passé toute sa vie à faire des allers-retours, au moins tous les étés, plus une ou deux fois par an pour des conseils, des réunions. Elle dirigeait l'École à distance, sauf l'été, où, pendant les deux mois, elle était là, avec ses trois filles. C'était une personne formidable.

HRC

Quel était le rôle de Néel ?



Roger BALIAN

Cécile était allée le voir, il avait été séduit par son initiative et l'avait aidée à trouver des fonds pour démarrer, puis pour continuer. Il participait aussi grandement au conseil d'administration qui a soutenu Cécile au cours des années. Le financement de l'École était, et est toujours, rattaché à l'université de Grenoble, mais d'autres subventions sont arrivées assez vite. Les premières subventions, durant les premières années, venaient du ministère des Affaires étrangères. Ensuite, il y a eu des subventions de la Division des affaires scientifiques de l'OTAN, que Cécile négociait à chaque fois, session par session. C'étaient les deux principales sources extérieures de financement.

En 1968, il y a eu un drôle de drame ! Cécile était aux États-Unis pendant Mai 68, et, vu des États-Unis, il y avait la révolution en France. Lors de sa création de l'École, elle avait réussi à trouver les locaux adéquats à travers une copine qui était la fille d'Albert Laprade. Laprade, un architecte très connu à l'époque, a été entre autres l'architecte de Casablanca et de l'ancien Musée des colonies à la Porte Dorée. Dans les années 1920, quand il était jeune architecte sans le sou, il s'était pris de passion pour le pays des Houches et il avait acheté, morceau par morceau, une immense propriété, sur la montagne, des alpages avec des chalets d'alpage, pour des sommes dérisoires. Il m'a raconté qu'il avait acquis l'un de ces chalets en échange d'une loge de concierge à Paris qu'il avait trouvée pour le fermier. Cécile DeWitt a réussi à obtenir de lui, à travers sa fille, qu'il prête plusieurs chalets pour la première session de 1951 ; la salle de cours était un grenier, et les logements des professeurs et des étudiants étaient plutôt rudimentaires. Cette année-là, la moitié de ceux-ci ont couché sur la paille, à l'intérieur d'une grange. Ensuite, progressivement, quand Cécile a eu un peu d'argent, elle a demandé à monsieur Laprade de vendre à l'École quelques chalets et du terrain. Elle a acheté petit bout par petit bout la propriété actuelle. Les lieux étaient affectés à l'École, mais juridiquement, ils dépendaient de l'université de Grenoble. En 1968, Cécile a craint que des étudiants, ayant « pris le pouvoir », ne transforment « sa » propriété en colonie de vacances. Du coup, elle a pris peur. Elle est allée chercher le plus grand juriste de l'époque et elle a concocté des statuts beaucoup plus solides pour l'École. Une grande idée était qu'avec plusieurs tutelles, on est plus indépendant. Actuellement, l'École a comme tutelles l'université de Grenoble, qui administre la ligne budgétaire, mais également le CNRS, le CEA, l'École normale supérieure de Lyon, l'université de Nice, avec des représentants dans le conseil d'administration. Néel jouait un rôle majeur dans ce Conseil.

HRC

C'est lui qui avait la main sur l'université de Grenoble ?

Roger BALIAN

Oui, il avait la main sur tout. C'est lui qui après la guerre a fait de Grenoble un pôle international de recherches, important surtout en physique. Il a créé et dirigé de nombreux laboratoires grenoblois, du CNRS, du CEA, de l'Université, et plus tard internationaux. Il était aussi à la tête de l'INPG (Institut national polytechnique de Grenoble), qui est maintenant éclaté en plusieurs écoles. Il a joué un rôle énorme en faisant venir des gens de ma génération à Grenoble. J'ai beaucoup interagi avec lui pour l'École des Houches. Il était, institutionnellement, vice-président du Conseil d'administration de l'École des Houches, vice-président signifiant qu'il tirait les ficelles.

Les cours des Houches étaient exclusivement en anglais, parce qu'une autre grande idée de Cécile avait été de créer cette école pour des étudiants français, mais qui soient au contact avec leurs semblables étrangers. Il était indispensable que la moitié des étudiants soient français et l'autre moitié soient étrangers. Dès la première année, il y a eu beaucoup d'étrangers. D'ailleurs, pour moi, comme pour beaucoup de physiciens



français, un certain nombre de collaborations avec des étrangers se sont amorcées avec des chercheurs connus aux Houches. Quand on reste deux mois ensemble, on se connaît bien et ensuite, on correspond. Avant, c'étaient deux mois ; maintenant, ce n'est plus qu'un mois. C'est plus spécialisé parce que le troisième cycle existe, et le niveau est moins élémentaire, mais plus pédagogique que dans d'autres écoles d'été.

L'École a même accueilli comme élèves des chercheurs expérimentés. Abragam y est allé, comme élève, à une session de physique des particules, parce qu'il ne connaissait rien à la physique des particules et il venait d'être nommé directeur de la physique, avec sous ses ordres le département de physique expérimentale gigantesque de Saclay.

HRC

Est-ce que vous avez côtoyé Pierre-Gilles de Gennes (prix Nobel de physique en 1991) ?

Roger BALIAN

Oui, bien sûr. Je l'ai côtoyé aux Houches, et à Paris. Nous sommes allés dîner chez lui, il venait dîner chez nous. Son épouse, Annie, avait fini par transformer leur maison d'Orsay en un excellent restaurant. On se connaissait très bien. De Gennes était très séduisant, non seulement par sa personnalité, mais aussi dans la présentation de ses séminaires. Il avait une double vie. Sa femme savait qu'il vivait avec la physicienne Françoise Brochard à mi-temps. Le week-end, il était à Orsay, et, en semaine, à Paris, pour diriger l'École supérieure de physique et de chimie industrielles (ESPCI).

Héritage et évolutions à l'École des Houches (1974-1980)

HRC

Une question très générale : comment caractériseriez-vous l'évolution de cette communauté de la physique théorique française à partir du moment où elle se redresse, à partir de la fin des années 1950 jusqu'aux années 1980 ? Par quels traits ? Par exemple, l'ultra-spécialisation était-elle manifeste ?

Roger BALIAN

La spécialisation ou pas est une question de personnes. Il y a les deux extrêmes. Il y a ceux qui s'ultra-spécialisent et à l'autre extrême, ceux qui s'attaquent à des choses variées. Dans notre labo particulièrement, on a considérablement bénéficié de ces différences, bien que l'on soit nombreux, mais soudés. Cela a permis des tas de collaborations transdisciplinaires, des choses très éloignées les unes des autres. Un cas typique est Jean Zinn-Justin. On ne peut pas dire qu'il soit physicien des particules ou physicien de la matière condensée, il est vraiment les deux. Il a été les deux très vite grâce à cette interpénétration dans notre labo.

Je suis resté dans ce même labo jusqu'à la fin de ma carrière. Je l'ai dirigé pendant 9 ans, lorsque c'était le SPHT, Service de physique théorique. Au départ, le Service de physique mathématique, rattaché au Département d'étude des piles, couvrait à la fois la physique des réacteurs et la physique théorique. Une réorganisation a fait dépendre le SPHT d'un Département de physique fondamentale. En 1968, on a déménagé à l'Orme-des-Merisiers, à l'extérieur des barrières de Saclay, afin de faciliter la venue de chercheurs universitaires. Il y a quelques années, le SPHT a changé de nom et est devenu l'Institut de physique théorique (IPHT). Il dépend à la fois du CEA et du CNRS.



Le nombre de chercheurs permanents avait crû rapidement et maintenant, il est plus stable, autour de la soixantaine. Actuellement, la situation est devenue plus difficile parce qu'avec le nouveau système de financement, la tendance est de créer des groupuscules qui essaient de chercher leurs financements propres, alors qu'à l'époque où le financement était commun, cette tendance à créer des îlots était moindre.

Le financement récurrent est resté à un assez bon niveau. Mais les projets ANR sont là quand même. C'est ce que mes successeurs regrettent le plus. Ils essaient de tout faire pour maintenir la cohésion, qui est la raison d'être de cet IPHT.

Les chefs de service successifs ont laissé les gens explorer tout ce qu'ils voulaient dans la physique théorique. Il n'y a jamais eu de délimitation. Les directives sont venues de l'extérieur. À un moment donné, dans les années 1970, on a voulu voir notre image dans un miroir. On a créé un Conseil scientifique international et ce Conseil se réunissait tous les ans. Cela existe toujours, avec présentation des travaux, etc., comme dans tous les laboratoires. Les avis du Conseil scientifique ont souvent joué un rôle d'incitation. Par exemple, David Gross (prix Nobel de physique en 2004) faisait partie du Conseil scientifique. Il a dit que l'on devrait pousser plus dans la direction des systèmes désordonnés, ce qui s'est fait. Ce ne sont pas des directives hiérarchiques, mais des incitations venant d'étrangers que l'on connaît bien. Cela a joué un grand rôle.

Il y a toujours eu une faiblesse qui est le manque de relations avec les expérimentateurs du CEA. Quelques théoriciens des particules collaboraient avec les expérimentateurs de Saclay, mais leur nombre n'a jamais été très grand et les liens n'ont jamais été assez forts. De même, les liens entre les théoriciens de la matière condensée de chez nous et ceux du laboratoire anciennement dirigé par Abragam, qui est pourtant dans le même bâtiment, ne sont pas suffisants.

HRC

Dans votre propre pratique de la physique théorique, est-ce que vous avez eu des collaborations avec des expérimentateurs ?

Roger BALIAN

Trop peu. Si je prends par exemple le cas de la phase B de l'Hélium 3, les expérimentateurs l'ont découverte environ dix ans après mon papier théorique, et j'avais perdu tout intérêt dedans. J'étais passé à autre chose. En plus, c'étaient des expérimentateurs aux États-Unis, que je ne connaissais pas du tout.

HRC

Gilles Cohen-Tannoudji, le frère de Claude Cohen-Tannoudji (prix Nobel de physique en 1997), travaillait bien dans le Service de physique théorique ?

Roger BALIAN

Gilles faisait partie de ceux auxquels je pensais tout à l'heure, qui avaient des rapports assez serrés avec les expérimentateurs. Gilles était aussi épistémologue. Il était une singularité.

Vers cette époque, après avoir été élève à l'École des Houches, j'y suis retourné en 1967 comme adjoint de Cécile, pour l'organisation scientifique d'une session. C'était une session sur la matière condensée. Cécile n'était venue qu'un mois sur les deux et elle m'avait confié en son absence son « bébé » – elle disait elle-même que l'École des Houches était son bébé – et tout s'était bien passé. Elle pensa quelques années plus tard qu'après vingt-et-un ans de bons et loyaux services, il fallait qu'elle passe la main à quelqu'un d'autre. Elle m'a alors confié son bébé devenu adulte, et j'ai pris sa succession



comme directeur de l'École. J'ai dirigé l'École des Houches pendant sept ans, de 1974 à 1980.

HRC

Vous étiez très proches ?

Roger BALIAN

Elle avait un caractère qui n'était pas du genre à être très proche, mais à sa façon, oui. Elle était hyper dynamique et n'avait pas de temps à perdre. On s'appréciait beaucoup mutuellement. Elle se disait que son école serait entre des mains auxquelles elle pouvait faire confiance. J'ai eu la responsabilité des Houches pendant ces sept années. C'est une période au cours de laquelle les sessions de deux mois ont progressivement laissé la place chaque année à deux sessions d'un mois.

A cette époque, Nozières, qui était élève et très proche de Yves Rocard, savait que Rocard disposait d'un trésor qu'il souhaitait utiliser au mieux. Ce trésor de l'École normale supérieure était constitué de lingots de platine qui avaient été achetés, mis dans un coffre à l'École normale, et qui provenaient de contrats, parce qu'à l'époque, les labos de l'École passaient des contrats avec l'industrie et ces contrats rapportaient. Une forte somme avait ainsi été mise de côté. Un peu auparavant, il fallait trouver un directeur des labos de l'ENS. Rocard voulait proposer Pierre Aigrain comme successeur et il paraît que Jean Brossel, qui s'y opposait, aurait fait courir le bruit absurde qu'Aigrain était sympathisant communiste. Je l'ai entendu dire à plusieurs endroits différents, ça doit être vrai. Alors, Brossel et Rocard s'en voulaient à mort. Rocard utilisait une partie de cet argent pour le sous-groupe de labos qu'il avait créé, qui contient en particulier des géologues. Le Laboratoire de spectroscopie hertzienne était resté côté Brossel. Rocard, qui était protestant, ne savait pas très bien quoi faire de cet argent accumulé, trop abondant pour le groupe de physiciens qui était autour de lui. Nozières lui avait proposé d'utiliser cet argent pour construire un bâtiment aux Houches, qui serait chauffé. Jusque-là, on ne pouvait ouvrir l'École qu'en été, on ne pouvait pas la chauffer. Il y a eu des négociations, entre Nozières, Rocard et moi. Il faisait semblant d'être sourd pour mieux discuter, il était tout à fait formidable. Il avait dit un jour en souriant : « J'ai un fils [Michel Rocard], il a mal tourné ». Il avait un humour extraordinaire. Il fallait aussi que je discute avec Brossel. J'étais allé le voir et il avait dit : « je ne veux pas de cet argent, c'est de l'argent sale ». Mais Rocard m'avait dit : « J'ai tout fait pour que Brossel n'en ait pas un sou ». Je n'ai jamais su la vérité.

L'idée était de construire un bâtiment pour l'École des Houches. Il fallait cependant justifier cet emploi d'un argent appartenant aux labos de l'ENS. Il y avait déjà l'énorme apport de l'École des Houches aux chercheurs de l'ENS qu'elle avait contribué à former à la physique moderne. Il y avait aussi un prétexte géologique. Rocard travaillait pour la direction des applications militaires du CEA, pour détecter les expériences nucléaires chinoises. Ce bâtiment a été construit à un endroit où, en sous-sol, il y a une énorme dalle de granit massif. Rocard considérait que le granit massif permettait une meilleure détection des vibrations du sol, en particulier celles produites par les explosions nucléaires souterraines, même aux antipodes. Il a financé la construction du bâtiment, que j'ai suivie. Dans sa cave, il y avait un sismographe scellé dans le granit. Il m'a montré les enregistrements. Ils étaient très intéressants. On voyait des oscillations énormes, et le calme le dimanche. C'était le passage des camions dans le tunnel du Mont Blanc ! Rocard m'a dit : « Si les Chinois font une explosion le dimanche, on la verra ». C'était un sacré personnage. Il avait mis un autre sismographe dans les Hautes-Alpes aussi, mais il paraît qu'il focalisait moins bien qu'à l'École des Houches. Le bâtiment a été baptisé ALPENS, pour « Amis du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure ».

HRC

Rocard s'était décrédibilisé, aux yeux d'un certain nombre de scientifiques, à la fin de sa vie, avec ses histoires de magnétisme.

Roger BALIAN

Philippe Nozières m'avait effectivement raconté qu'il faisait tester des baguettes de sourcier par les élèves de l'École normale supérieure, qui devaient détecter des canalisations souterraines. Il y avait quand même quelque chose de vrai dans le fait que certains animaux, oiseaux, abeilles, sont sensibles aux champs magnétiques, ce que l'on ne savait pas à l'époque.

HRC

Qui a pris votre succession, à l'École des Houches ?

Roger BALIAN

Juste après moi, Raymond Stora, puis Jean Zinn-Justin, François David, et bien d'autres. Ils ont tous fait progresser l'École.

HRC

Pour vous, cela a été une bonne expérience ?

Roger BALIAN

C'était vraiment formidable. Il y a d'abord le sentiment d'apporter des choses à la collectivité. Sur le plan personnel, même lorsque la session porte sur des domaines différents de sa spécialité, on peut suivre un peu les cours ; cela donne une culture générale formidable, sur des sujets extrêmement variés. Cela a été parfois une expérience sociologique. Par exemple, il n'y a rien de plus irresponsable que les astrophysiciens. Ils se révoltaient contre ce qu'on leur servait à la cantine, alors que c'était tout à fait décent. Une autre communauté a été très surprenante, celle de la physique des plasmas. Un beau jour, ils ont décidé de se réunir et de discuter des raisons pour lesquelles ils avaient choisi de travailler dans la physique des plasmas. Je n'ai jamais connu aucune autre communauté où les gens se demandent pourquoi ils travaillent là-dedans. Il est apparu que la majorité des gens qui étaient là, étudiants et professeurs, souhaitaient faire une recherche proche des applications, mais en étant sûr que ces applications soient non militaires, ce qui semblait le cas pour la physique des plasmas. Cette réunion leur a tellement plu qu'ils ont recommencé une autre fois. Cette volonté de s'interroger sur ses motivations était assez étonnante.

HRC

Par rapport à l'École, est-ce que vous avez introduit des changements ?

Roger BALIAN

Le bâtiment a changé complètement les choses parce qu'on a pu ouvrir l'hiver. Marie-Thérèse Béal-Monod, qui est physicienne, a pris en charge l'organisation d'écoles d'hiver, qui se sont progressivement développées. Les écoles d'hiver ont un format très différent des sessions d'été. Ce sont des *workshops* plutôt, qui durent une semaine ou quinze jours, et qui ont pu être initiés grâce à l'existence de ce bâtiment chauffé. Cette nouvelle utilisation de l'École a été introduite à cette époque.



Hybridation entre physique statistique et physique quantique

HRC

Est-ce qu'il y a eu des injonctions de la part du CEA, dans votre service, d'orienter, pour certains d'entre vous, vos recherches vers les applications militaires ?

Roger BALIAN

Non, jamais. Il y a une barrière très étanche. À un moment donné, j'ai été dans le Conseil scientifique de la Direction des applications militaires. Pour cela, ils ont fait une enquête, bien sûr. En fait, il y avait déjà eu une enquête au moment où j'ai été embauché au CEA, en 1956. Ils avaient envoyé quelqu'un demander des renseignements à la gardienne de mon immeuble. Lors de la nouvelle enquête, ils m'ont interrogé sur mes opinions, et j'ai découvert qu'ils en savaient tout, mais que cela ne les dérangeait pas.

HRC

Vous développiez un militantisme politique ?

Roger BALIAN

Non, aucun militantisme. Mais j'étais de gauche. Je ne sais pas comment ils savaient. J'ai toujours dit ce que je pensais à tout le monde. Ce n'est donc pas surprenant.

HRC

Comment avez-vous vu l'autre partie de votre carrière, c'est-à-dire l'enseignement et l'articulation entre ces activités d'enseignant et de chercheur ?

Roger BALIAN

Je suis tombé assez tard dans l'enseignement, en 1972. J'avais fait déjà un tout petit peu d'enseignement. Par exemple, Yvon, qui donnait un cours de mécanique statistique classique, à Paris, aimait bien piocher des assistants dans notre service. Il avait demandé à Cirano De Dominicis, une année, de faire ses exercices dirigés. Une autre année, il me l'avait demandé. C'était à peu près tout jusque-là.

À l'École polytechnique, lorsque j'étais élève, les promotions paires et les promotions impaires n'avaient pas les mêmes professeurs. Il y avait une alternance des enseignants, aussi bien en maths qu'en physique. Dans les années 1960, l'enseignement avait été réunifié, les deux promotions avaient les mêmes professeurs. Mais l'enseignement de physique était partagé entre deux professeurs, l'un en mécanique quantique, l'autre en mécanique statistique. À l'époque, Jean-Louis Basdevant s'occupait de la mécanique quantique et Ionel Solomon de la mécanique statistique. Il était expérimentateur au labo de matière condensée de l'X. Il avait estimé que son cours était trop focalisé sur la mécanique statistique classique alors que la mécanique statistique quantique était devenue l'un des domaines essentiels de la physique. Il ne se sentait pas de faire cet enseignement seul, et il m'a invité à venir partager son cours avec lui. Je lui en suis infiniment reconnaissant.

HRC

En quelle année ?



Roger BALIAN

En 1972, quelques années avant le déménagement de Paris à Palaiseau de l'École Polytechnique. Cela s'est fait un peu en biseau. Ionel et moi avons commencé par couper le cours en deux, en rajoutant au sien une partie quantique dont je me chargeais. Au bout de quelques années, il m'a demandé de tout prendre pour que le cours soit plus moderne et cohérent. Plus tard, avec toute une équipe, j'ai donné à l'X, en dehors du cours magistral, d'autres enseignements centrés sur divers aspects de la physique statistique. Tout cela a donné naissance une vingtaine d'années plus tard à mon livre *From Microphysics to Macrophysics. Methods and Applications of Statistical Physics*⁷.

HRC

Dans vos recherches, vous étiez déjà passé à cette hybridation entre physique statistique et physique quantique ?

Roger BALIAN

Oui, dès le départ.

HRC

Vous n'avez jamais fait de la physique statistique pure et dure, sans composante quantique ?

Roger BALIAN

La physique statistique quantique est elle-même « pure et dure » ! Elle a connu d'immenses développements au cours du XX^e siècle. La physique statistique classique, trop souvent enseignée en premier, n'en est en fait qu'une approximation. J'ai fait un petit peu de mécanique statistique classique à l'époque des exercices du cours d'Yvon, sur la manipulation de la hiérarchie BBGKY (Bogolioubov, Born, Green, Kirkwood et Yvon). Vers la fin de mon cours de l'X, des années plus tard, j'ai aussi voulu rajouter des leçons de dynamique alors que mon cours portait jusque-là plutôt sur l'équilibre. Ce sont les tout derniers chapitres de mon livre qui marquent ce passage. Je continue à penser que la mécanique statistique classique est une chose mal fichue, bâtarde.

HRC

Même d'un point de vue fondamental, elle n'a pas trop de sens puisqu'elle s'occupe de particules dont on sait qu'on ne peut les traiter que de façon quantique, non ?

Roger BALIAN

Non, elle a un sens, dans des situations limites où le matériau n'est pas trop dense ou la température n'est pas trop basse, par exemple, mais son utilisation en tant que science fondamentale donne lieu à des paradoxes qui sont levés par l'utilisation de la mécanique statistique quantique.

PHOTO RBalian3

⁷ NdIR : Roger Balian, *From Microphysics to Macrophysics. Methods and Applications of Statistical Physics*, 2 volumes, Berlin, Springer (1991 et 1992 ; réédition en 2006).

Les bases quantiques de la physique statistique : une approche pédagogique singulière

HRC

Comment avez-vous vécu ce métier d'enseignant ? Est-ce qu'il était pour vous une respiration dans votre travail de recherche ?

Roger BALIAN

Oui, nettement. Cela change de la recherche, qui est parfois aride et décourageante. Mais cela prend beaucoup de temps. Préparer un cours prend des heures et des heures, même quand on l'a déjà fait l'année précédente. Surtout, le fait d'être en contact avec des étudiants est formidable.

HRC

Ma position personnelle vaut ce qu'elle vaut, mais je pense que l'on ne comprend parfaitement quelque chose que lorsqu'on sait l'expliquer. Si on ne sait pas l'expliquer à quelqu'un d'autre, c'est qu'il y a un petit truc qui coince.

Roger BALIAN

C'est tout à fait vrai. Inversement, il est non moins vrai que l'on ne peut pas expliquer quelque chose sans le dominer déjà complètement. Dans l'enseignement, j'ai fait le cours magistral dès le départ, ce qui est assez rare, et grâce à Ionel Solomon. Ensuite, occasionnellement, de temps en temps, il y a des années où le cours magistral était fait par quelqu'un d'autre. J'ai fait aussi des petites classes (travaux dirigés). Un autre côté très agréable était de s'occuper des options. On a peu d'élèves, on les place dans des labos et on suit leur travail de loin. C'était aussi intéressant.

HRC

Est-ce que vous le faisiez en plus ou cela faisait-il partie des attributions de professeur à l'X ?

Roger BALIAN

Cela en fait partie, et toutes ces activités sont collectives. À l'intérieur du Département de physique, notre équipe de physique statistique avait son autonomie. Il y avait quelque chose d'extrêmement sympathique et assez rare, à savoir que l'on formait un bloc complet, travaillant en commun avec de l'estime et de l'amitié. Nous étions huit et il y avait six petites classes. On se réunissait ; de temps en temps, on dînait ensemble à la maison, avec les familles. Cette solidarité a permis de monter plusieurs enseignements nouveaux, L'un d'eux a été un cours d'option destiné à un groupe d'une vingtaine d'élèves, sur « vie et mort des étoiles », titre attirant. Mais il s'agissait en réalité de « mécanique statistique appliquée aux étoiles », et notre but était de motiver les élèves pour la mécanique statistique en leur montrant comment elle pouvait expliquer des phénomènes parfois paradoxaux en astrophysique. Nous avons été plusieurs à contribuer, chacun dans notre spécialité, à ce cours. Il montre des tas d'aspects différents de la mécanique statistique, avec la résolution d'un grand problème : comment se fait-il que le Soleil soit stable ? La réponse n'est pas simple parce qu'on se dit intuitivement qu'une réaction nucléaire, comme celles qui se produisent dans le cœur du Soleil, devient plus énergétique quand la température augmente ; une augmentation accidentelle de température devrait augmenter le taux de réaction, et le processus devrait s'emballer, conduisant finalement à une explosion. Inversement, si jamais il y a une incursion dans laquelle la température baisse, les réactions vont se ralentir et faire



baisser encore plus la température, et le Soleil va s'éteindre. Heureusement c'est faux. Ce paradoxe se résout par une alliance entre gravitation et physique statistique, ce qui est relativement subtil. Arriver à comprendre que le rayonnement du Soleil est stable grâce à la gravitation est quand même assez extraordinaire. On présente aux élèves ce problème au départ et on les accroche pendant tout le cours en le résolvant à la fin.

Il a donné naissance à un papier que j'aime bien, écrit avec Jean-Paul Blaizot, qui a été publié dans *American Journal of Physics*, juste avant l'an 2000⁸. Le cours n'avait pu être construit que grâce à une particularité de la physique à l'X, où les enseignants viennent de toutes sortes d'horizons différents. On a eu l'idée de lancer ce truc parce que dans notre groupe, je faisais de la mécanique statistique, Robert Mochkovitch était astrophysicien, Blaizot physicien nucléaire, Marie-Noëlle Bussac physicienne des plasmas, et Michel Spiro physicien des particules. Tous ces domaines contribuent à l'étude des étoiles. On avait déjà, dans les petites classes, dans les exercices, expérimenté quelques petits bouts de ce cours. On s'est dit qu'en rassemblant, organisant et complétant tout cela, on devait pouvoir faire un cours d'option cohérent. Cela a remarquablement marché, en montrant aux élèves le lien entre les applications à l'astrophysique et la mécanique statistique.

HRC

Il s'agit de partir de l'application pour essayer de comprendre des choses plus fondamentales.

Roger BALIAN

Oui, partir de l'application aide à s'intéresser au fondamental en comprenant sa nécessité. C'est aussi l'inverse, partir du fondamental pour approfondir la compréhension des applications. Solomon disait aux élèves : si vous voulez, par exemple, améliorer l'utilisation de l'énergie solaire, il vous faut dominer la physique fondamentale des semi-conducteurs. Dans cet esprit, nous avons monté avec lui un cours sur l'énergie, depuis la physique jusqu'à l'énergétique. Pour n'importe quelle application, on ne peut être efficace qu'en ayant approfondi le côté fondamental.

En ce qui concerne mon cours, je suis délibérément parti du fondamental, des bases quantiques de la physique statistique, avant de passer en revue ses applications. Basdevant faisait le cours de mécanique quantique, mais il ne parlait que d'état pur. Il me fallait au départ élargir le point de vue. Puis, il y avait une autre idée-force qui, à l'époque, n'était mise en valeur que dans un ou deux livres, l'emploi de l'entropie parmi les fondements de la physique statistique. Cela se voit dans la construction de mon livre, où l'entropie statistique permet de décrire un objet à l'échelle microscopique par une loi de probabilité. Partir de là permet d'éclaircir la notion d'équilibre thermodynamique. On peut ensuite étendre l'idée au non-équilibre ; je ne l'ai pas fait dans le livre, mais dans d'autres articles, c'est très éclairant.

HRC

Si je me souviens bien, le fameux livre de Bernard Diu *et al.*, *Physique statistique*⁹, ne fait pas ce choix de parler de quantique. Il en parle juste à la fin, je crois, dans des annexes.

⁸ NdIR : Roger Balian, Jean-Paul Blaizot, "Stars and statistical physics: A teaching experience", *American Journal of Physics*, 67, 1189-1206 (1999). <https://doi.org/10.1119/1.19105>

⁹ NdIR : Bernard Diu, Claudine Guthmann, Danielle Lederer, Bernard Roulet, *Éléments de physique statistique*, Paris, Hermann (1989).

Roger BALIAN

Ces auteurs préfèrent commencer leur enseignement par la physique statistique classique, qui suffisait il y a un siècle. J'ai un point de vue plus radical, qui est de partir de la physique statistique quantique, et d'en déduire la limite classique lorsqu'on étudie des matériaux pour lesquels les effets quantiques sont négligeables. L'approche quantique est plus fondamentale sur le plan des principes, elle permet de résoudre des paradoxes qui ont gêné les physiciens au début du XX^e siècle. Et elle met encore plus fortement l'accent sur la nécessité d'employer des probabilités en physique.

Débats philosophiques et scientifiques sur la mécanique quantique

HRC

Votre approche ressemble un peu à ce que dit Ilya Prigogine, notamment avec Isabelle Stengers dans *La Nouvelle Alliance* (1979)¹⁰. En gros, il y a un indéterminisme irréductible et ce n'est pas juste un effet d'approximation.

Roger BALIAN

Je n'aime pas beaucoup Prigogine, parce qu'il considère que cet indéterminisme est une propriété de la nature, alors que pour moi les probabilités ne sont qu'un outil théorique, une branche des mathématiques permettant de surmonter le mieux possible des faiblesses de notre connaissance. La mécanique quantique est irréductiblement probabiliste, pour une raison particulière : les concepts eux-mêmes que nous manipulons, issus de la mécanique classique, ne sont pas tout à fait adaptés au monde réel. À l'échelle microscopique, nos concepts de position, de vitesse s'appliquent mal à une particule comme un électron. Ce qui nous empêche de donner des valeurs bien définies à ces grandeurs. On est obligé d'avoir une description probabiliste, on ne peut pas en sortir. Mais l'emploi de probabilités permet de manipuler ce caractère « flou » avec le maximum possible d'efficacité. La science ne fournit pas de certitudes absolues, et nécessite des approximations, ce qui ne l'empêche pas de progresser. Je considère qu'elle représente ce que nous, animaux évolués, pouvons dire sur ce qu'il y a autour de nous, et faire une image de plus en plus adaptée du réel dans notre cerveau.

HRC

Et aussi ce que nous pouvons prédire...

Roger BALIAN

Oui, bien sûr, surtout. Notre cerveau, fruit d'une évolution pendant un milliard d'années, parvient à former des images, en langage ordinaire ou en langage mathématique, un peu floues mais dont la validité est démontrée par les possibilités d'action et de prévision qu'elles fournissent. Ces images sont de moins en moins floues, mais le resteront parce que nous ne sommes jamais que des animaux.

HRC

C'est très proche de la position de Bernard d'Espagnat, du « réel voilé » de D'Espagnat...

¹⁰ NdIR : Ilya Prigogine, Isabelle Stengers, *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science*, Paris, Gallimard (1979).

Roger BALIAN

Oui, pour la physique quantique, c'est le réel voilé de D'Espagnat, mais je ne trouve pas qu'il l'ait dit fortement.

HRC

Si, je trouve qu'il y a un livre où il est très clair. C'est un livre de 1985 qui s'appelle *Une incertaine réalité. Le monde quantique, la connaissance et la durée*. Ce n'est pas dans son livre de 1982, *Un Atome de sagesse. Propos d'un physicien sur le réel voilé...*, mais dans cet autre livre un peu plus tardif¹¹.

Roger BALIAN

Je ne connais que celui de 1982.

HRC

Dans celui-ci, ce n'est pas clair, en effet, mais trois ans plus tard, c'est beaucoup plus clair. Finalement, la position que vous venez d'exprimer est la position kantienne, la différence entre les *noumènes* et les *phénomènes*. C'est une façon de dire que le *réel en soi* ne nous est pas accessible. Tout ce qui nous est accessible est le *réel pour nous*. Ce sont les phénomènes.

Roger BALIAN

D'accord. Tout à fait. C'est la pensée de Niels Bohr (prix Nobel de physique en 1922). C'est le fait que la science, c'est ce que nous pouvons dire des choses. La science ne nous dit pas ce que sont vraiment les choses.

HRC

Cette façon de penser me semble très peu répandue chez les physiciens. Paradoxalement, on dit que l'interprétation orthodoxe de la mécanique quantique est l'interprétation de Copenhague (la ville où travaillait Bohr). Pourtant, au fond, rares sont les physiciens qui y adhèrent vraiment. Nombreux sont ceux qui pensent découvrir le *réel en soi*.

Roger BALIAN

Ceux qui pensent cela – sont-ils vraiment si nombreux ? – déforment l'interprétation de Copenhague. Je viens de lire un courriel de Franck Laloë, dans lequel il m'écrit explicitement : « Je suis d'accord avec toi, une fonction d'onde décrit un ensemble, mais elle peut décrire aussi un objet individuel ». Non, je ne suis pas d'accord ! Cet objet individuel est décrit, à l'aide de probabilités, en tant qu'élément d'un ensemble d'objets similaires.

HRC

Une fonction d'onde est un descripteur pour nous, ce n'est pas une caractéristique intrinsèque d'un objet.

¹¹ NdIR : Bernard d'Espagnat, *Une incertaine réalité. Le monde quantique, la connaissance et la durée*, Paris, Gauthier-Villars (1985) ; Bernard d'Espagnat, *Un Atome de sagesse. Propos d'un physicien sur le réel voilé...*, Paris, Le Seuil (1982).

Roger BALIAN

Bien sûr. Plus précisément, c'est un catalogue de toutes les prévisions que l'on pourrait faire, si jamais on mettait cet objet en contact avec tous les instruments possibles et imaginables. Cela n'a rien de directement *réel*. C'est un catalogue, au moins de mon point de vue.

HRC

Je trouve cela étonnant de la part de quelqu'un d'aussi expert en mécanique quantique que Franck Laloë.

Roger BALIAN

Franck Laloë a de grandes qualités, mais aussi un petit défaut, c'est d'être œcuménique. Il trouve de l'intérêt à tout ce qui est dit. Il accepte même l'interprétation des univers multiples de Hugh Everett. Je suis plus sectaire, je rejette certaines interprétations de la mécanique quantique comme celle-là.

HRC

Il défend aussi la mécanique quantique relationnelle de Carlo Rovelli ¹², l'interprétation relationnelle, qui ne m'a jamais convaincu. Je ne vois pas ce qu'apporte de dire que tout objet est un observateur.

Roger BALIAN

Il y a toujours de la métaphysique dans les interprétations, tandis que pour moi, la seule métaphysique qui existe, c'est le matérialisme pur et dur.

HRC

J'ai l'impression que celui qui a dit tout ce qu'il y avait à dire sur l'interprétation de la mécanique quantique, c'est Bohr, et que l'on n'a pas ajouté grand-chose depuis.

Roger BALIAN

C'est un peu vrai. Mais il y a une difficulté dans Bohr : il a écrit tellement de choses que certaines se contredisent plus ou moins, ou ne sont pas très claires.

HRC

C'est vrai, mais je pensais surtout à la position de Bohr au cours de son débat avec Einstein à propos de la complétude de la mécanique quantique.

Roger BALIAN

Dans ce cas, oui, c'est l'évidence, avec toutes les conséquences que l'on peut en tirer.

HRC

Est-ce que vous avez côtoyé Bernard d'Espagnat et interagi avec lui ?

¹² NdIR : Carlo Rovelli, *Par-delà le visible. La Réalité du monde physique et la Gravité quantique*, Paris, Odile Jacob (2015).

Roger BALIAN

Pas beaucoup. Il était à Orsay, je l'ai rencontré quelquefois dans nos séminaires, par exemple. Je l'ai vu plus régulièrement dans les réunions du Collège de physique et de philosophie qu'il a créé à l'Institut de France.

L'Académie des sciences entre sciences et société**HRC**

Qu'a représenté pour vous l'élection à l'Académie des Sciences ? Est-ce qu'elle a été importante pour vous, et quelle a été sa répercussion sur votre travail ?

Roger BALIAN

Sur mon travail, rien. Mais cela m'a fait plaisir. Cela fait bien sûr plaisir d'être reconnu. On entre dans une communauté très large, allant des mathématiques à la médecine, on côtoie de grands noms dans une ambiance amicale, surtout lorsqu'on travaille ensemble. On a l'occasion d'apprendre, à un niveau certes de vulgarisation, des choses intéressantes dans toutes sortes de domaines. Il y a deux types de membres, français et étrangers, et deux types d'élections. Hier, on a eu la présentation des candidats comme membres associés étrangers, et on doit voter par correspondance aujourd'hui.

L'élection comme membre de l'Académie porte un aspect de reconnaissance des travaux, mais implique aussi des devoirs moraux. L'Académie étudie des questions générales, concernant la science et la société, à travers des comités et groupes d'étude qui élaborent des communiqués, des recommandations ou des rapports. Son indépendance garantit son objectivité, et sa pluridisciplinarité permet des visions larges. On est libre de travailler dans ce cadre sur ce qu'on veut, comme on veut et quand on veut. Je trouve que c'est la part la plus intéressante et la plus importante de l'activité de membre. Beaucoup y participent. Certains, une fois élus, disparaissent totalement. C'est devenu rare, et je ne nommerai personne. D'autres sont d'une grande efficacité quand on leur demande quelque chose, mais seulement dans ce cas. De Gennes était de ceux-là. En ce qui me concerne, je me suis impliqué dans diverses directions, surtout depuis que je suis à la retraite. C'est une occupation agréable, d'autant plus que l'on travaille avec des scientifiques de disciplines très différentes. J'ai participé à l'organisation de la maison. Je suis dans plusieurs comités : énergie, histoire des sciences, métrologie, plis cachetés. On essaie de faire avancer le schmilblick, ce qui n'est pas facile parce que même lorsqu'on ne dit que des choses évidentes, il n'y a pas moyen de les faire passer. On voudrait les faire passer au niveau gouvernemental et dans les médias, mais c'est très difficile.

HRC

Est-ce que vous avez un exemple concret de ce genre de chose que l'on ne peut pas faire passer ?

Roger BALIAN

Par exemple, l'importance écologique du nucléaire. Finalement, cela commence à se savoir, mais cela fait des années que l'on explique que si l'on veut réduire les émissions de CO₂, on doit produire plus d'électricité nucléaire. On n'a pas le choix, les chiffres montrent que les énergies renouvelables ne peuvent pas suffire.



HRC

Au moins pour un certain temps, pendant une période de transition...

Roger BALIAN

Peut-être, mais avec les connaissances scientifiques et technologiques actuelles, l'étude des diverses sources possibles montre qu'il n'y a absolument aucune possibilité de faire de l'électricité décarbonée sans une forte part de nucléaire. C'est impossible.

HRC

Qu'est-ce que vous pensez d'ailleurs du grand projet international de fusion nucléaire, ITER ? Je sais que de Gennes était très critique envers ce projet.

Roger BALIAN

De Gennes était tout à fait contre. Édouard Brézin aussi. Moi, je suis un tout petit peu moins négatif. L'étude ne coûte pas des fortunes colossales au niveau mondial. Il y a un pari. Si jamais cela marche, cela servira à quelque chose d'important, peut-être dans cent ans, mais pour le moment, on n'en est qu'à la recherche exploratoire. C'est aussi l'un des domaines, malheureusement rares, où il existe une coopération technologique internationale.

Bien avant la fusion, il faut développer la quatrième génération de réacteurs nucléaires. Là, avec de nombreux scientifiques, je suis très pour. Malheureusement, en particulier dans notre pays, cette recherche a peu de soutien et c'est dommage. C'est le seul moyen de recycler les déchets, non seulement de les recycler, mais de les utiliser comme combustible pour multiplier par cent la quantité d'énergie nucléaire que l'on peut extraire de l'uranium. Les rapports de l'Académie démontrent l'intérêt majeur de cette technologie, dont l'accès est réaliste. Ils sont diffusés aux politiques sans grand effet. Ils devraient pourtant avoir du poids, puisqu'ils sont approuvés, comme toutes les décisions de l'Académie, par le « Comité secret ». J'aime bien ce vocabulaire qui veut dire en fait Assemblée générale non ouverte au public.

Depuis le temps que l'Académie dit aussi des trucs évidents sur l'enseignement des sciences...

HRC

Qu'est-ce que vous essayez de promouvoir comme idée à ce propos ?

Roger BALIAN

L'enseignement des sciences en France est ridicule. Depuis la disparition des Écoles normales, la plupart des enseignants du primaire n'ont fait que des études littéraires, et ils n'ont aucune formation pédagogique en maths ou en sciences. Les élèves arrivent au collège avec des lacunes impossibles à combler. Ensuite, il n'y a presque plus de sciences fondamentales. On fait de la science gadget dans tout le lycée. On part de choses, de problèmes très complexes, on veut par exemple leur expliquer le climat, alors qu'il faudrait auparavant comprendre le b.a.-ba de la physique. En maths, c'est pareil. On ne sait pas ajouter deux fractions. Comprendre ce qu'est une fraction est la moindre des choses.

Une idée à la mode aujourd'hui, c'est d'enseigner la physique moderne, mais ça reste superficiel si les élèves n'ont aucune base solide. Il est fondamental de digérer d'abord la physique de base. Ce n'est qu'en ayant digéré au moins les grandes idées que l'on peut comprendre ce qui a été découvert plus récemment. C'est lié aussi à des idées courantes catastrophiques : que n'importe qui peut faire de la science aujourd'hui,

que toutes les affirmations se valent, surtout si elles sont sur internet. En France, pendant la pandémie de Covid-19, il y avait soixante-dix millions d'épidémiologistes. Plus personne n'a confiance en les conclusions des scientifiques.

D'ailleurs, dans un autre endroit, au Palais de la Découverte, on mène un combat énorme depuis des années, mais un combat désespéré, avec de nombreux scientifiques. Ils l'ont fermé et le nouveau Palais de la Découverte sera un truc gadget à l'état pur. On va appuyer sur des boutons pour allumer des écrans.

Sur le rôle de l'expérience, est-ce que vous connaissez un texte que j'adore, qui est la controverse entre le mathématicien René Thom (médaille Fields en 1958) et le physicien Anatole Abragam, à l'Académie ? Cette controverse a été extraordinaire.

HRC

Thom était généralement très agressif.

Roger BALIAN

Abragam aussi. Mais Thom était aussi très aimable. Thom avait publié un article d'une demi-page dans *Le Monde*, dans lequel il trouvait que l'on dépensait beaucoup trop d'argent dans la recherche expérimentale. Il avait pris deux exemples. Le premier était l'exemple de l'ADN. Il disait qu'il suffisait de réfléchir pour voir qu'il n'y avait besoin de faire des expériences pour comprendre sa structure. Le deuxième exemple était celui de la physique des particules. Il disait qu'il suffisait de regarder comment sont les équations et qu'il n'était pas utile de dépenser autant dans les accélérateurs. Cela avait fait scandale. Le Bureau de l'Académie avait organisé un débat public Abragam-Thom sur le rôle de l'expérience en sciences.

Ce débat a été absolument extraordinaire. Il était très surréaliste. Abragam et Thom s'étaient communiqués leurs textes à l'avance. Mais visiblement, Thom n'avait pas lu le texte d'Abragam. Il faut dire qu'Abragam y était allé fort. Il avait parlé de mathématiciens qui se prenaient pour des *Übermensch*, ce qui, face à un Alsacien, était injurieux. Thom avait été complètement scandalisé. Il avait terminé, après la conclusion, en disant qu'un débat aussi violent ne pouvait avoir lieu dans notre Académie. Il y avait dans l'audience Pierre-Paul Grassé, un vieux monsieur à l'époque, qui était le pape de la zoologie. Il avait un humour extraordinaire : il avait publié un petit fascicule sur les « rhinogrades », des animaux imaginaires qui marcheraient sur le nez. Grassé s'est levé et a dit : « Ce n'est pas la première fois qu'il y a un débat très violent à l'Académie. Il y a eu le débat entre Georges Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire. D'ailleurs, c'était exactement le même débat ». On avait rigolé !

HRC

Thom est très spécial. Il a une véritable philosophie platonicienne. Il croit à l'existence réelle des objets mathématiques.

Roger BALIAN

Totalement. Il n'est pas le seul. Les mathématiciens ont toujours un peu tendance à avoir cette attitude. Lui allait très loin, puisqu'il considérait qu'un bon mathématicien pourrait se passer des expériences en physique des particules et en biologie.

HRC

Dans sa controverse, au début des années 1980, avec Prigogine, il explique que les thermodynamiciens ne servent à rien, et qu'on pourrait tout à fait se contenter des réflexions des mathématiciens pour comprendre la thermodynamique.



Roger BALIAN

Il est vrai que certains phénomènes peuvent être prévus par l'étude des équations. Prigogine a monté en épingle l'idée de systèmes dynamiques non-linéaires dans lesquels une augmentation de forces thermodynamiques peut créer un mouvement régulier, par exemple celui de réactions chimiques oscillantes, ou celui de rouleaux de Bénard. Mais cette idée, qui a impressionné les chimistes, existe déjà pour une horloge à poids, qui est un système d'une banalité absolue. La périodicité apparaît chez Prigogine comme une espèce de mythe.

Prigogine avait malheureusement tendance à s'attribuer la paternité de travaux de certains de ses collaborateurs, par exemple Pierre Résibois. J'avais lu un papier de celui-ci, qui était formidable, mais j'ai entendu Prigogine faire un séminaire sur le sujet, où il tirait la couverture à lui.

HRC

La transformation du boulanger était son grand exemple aussi. C'est un joli cas de chaos déterministe, non ?

Roger BALIAN

C'est l'exemple parfait de la théorie du chaos déterministe, mais ce n'est pas lui qui l'a inventé. Il faut d'ailleurs bien distinguer. En fait, une force thermodynamique dont l'intensité croît progressivement peut engendrer d'abord des mouvements périodiques, puis des mouvements chaotiques.

Du point de vue expérimental, ces changements qualitatifs successifs, apparition de mouvements d'abord périodiques, puis chaotiques, ont été étudiés en détail sur les rouleaux de Bénard, en particulier à Saclay. Une école sur la dynamique des flammes, à Marseille, a aussi mis en évidence des phénomènes quelque peu analogues. C'étaient des objets passionnants, à la fois expérimentalement et théoriquement.

HRC

A propos de vos collègues académiciens, est-ce que vous avez collaboré avec Edouard Brézin ?

Roger BALIAN

Oui. Nous n'avons publié que très peu de papiers ensemble, mais on a beaucoup discuté. On était côte à côte, à Saclay. Lui a réussi à faire vraiment une percée dans le domaine des transitions de phase et des phénomènes critiques.

Il y avait aussi quelqu'un qui est malheureusement parti très jeune, probablement le plus doué de tous les gens du Service de physique théorique, c'est Claude Itzykson. C'était quelqu'un d'absolument formidable. Il était un grand théoricien des champs. J'y pense parce qu'à cette époque, ceux que j'admirais le plus étaient Brézin, Zinn-Justin et Itzykson. Avec Itzykson et Jean-Michel Drouffe, on a écrit trois articles, aux débuts de la théorie des champs de jauge sur réseau. Nous trois étions différents et complémentaires. L'idée était de simuler l'espace par un réseau, de façon à remplacer le continu par du discret, une sorte de *coarse-graining* de l'espace qui permet d'éviter les problèmes posés par le continu. J'aime bien ces trois petits papiers.

PHOTO RBalian4



HRC

Selon vous, quel est l'état de la physique théorique française aujourd'hui ? On a beaucoup parlé du passé. Quels sont les grands défis pour l'avenir de la physique ? Est-ce que vous pensez qu'il n'y a plus rien à faire en physique théorique ou qu'il y a encore des champs entiers à travailler ?

Roger BALIAN

Cela continue très fort, sur des problèmes toujours nouveaux. Au cours des dix dernières années, il y a eu un énorme renouveau de la physique quantique, ce qu'Alain Aspect appelle la seconde révolution quantique. Il y a eu aussi des progrès énormes sur la physique du désordre, sur tout ce qui tourne autour de systèmes complexes, à toute échelle et de toute nature. Il y a aussi des progrès, ces derniers temps, sur les interactions fortes, entre particules fortement corrélées. On comprend encore mal la supraconductivité à haute température. Et il reste le problème ouvert de la gravitation quantique.

HRC

Qu'est-ce que vous pensez de la théorie de la gravité quantique à boucles de Carlo Rovelli ?

Roger BALIAN

J'ai vaguement essayé, mais je n'ai pas bien compris de quoi il s'agissait. Pour unifier la mécanique quantique et la gravitation, il faut certainement des idées folles. Les idées simples ne marchent pas. C'est un problème d'autant plus énervant que l'on a compris les trois autres interactions, forte, électromagnétique et faible, en tant que théories de jauge, alors que la gravitation est la plus ancienne historiquement des théories de jauge. C'est quand même énervant. Évidemment, la gravitation est une théorie de jauge classique, mais on a quantifié les trois autres interactions justement en utilisant le fait qu'elles aient des théories de jauge.

HRC

Qu'est-ce que vous pensez de ces physiciens et mathématiciens, dont certains Russes aujourd'hui, qui utilisent des géométries nouvelles ?

Roger BALIAN

Je ne connais pas du tout. La seule chose que j'ai connue, c'est un séminaire que j'ai écouté d'Alain Connes (médaille Fields en 1982) sur la géométrie non-commutative. Partant de l'idée que la mécanique quantique est fondée sur une non-commutation des grandeurs physiques, il étend cela à l'espace-temps et met dans ce cadre la théorie des interactions entre particules. Alain Connes est un peu semblable à Thom. Pour lui, les mathématiques sont l'essence du monde.

À ce propos, il y a une thèse de Dominique Lambert, philosophe à Namur, que j'avais beaucoup aimée. Elle tournait autour de l'explication du paradoxe de Wigner, la miraculeuse adéquation des mathématiques à la physique. J'avais été séduit par l'explication qu'il donnait. C'est comme deux arbres qui poussent : il y a l'arbre des mathématiques et l'arbre de la physique, et ils ont des branches. Les branches peuvent se rapprocher et quand deux branches sont voisines, elles en profitent considérablement, par symbiose, et se développent des deux côtés grâce à leur interaction mutuelle, ce qui fait qu'à la fin, la physique semble reposer sur les maths. Dans sa thèse, il donne des exemples anciens très convaincants, qui montrent comment les deux sciences se sont mutuellement nourries et aussi le fait que les branches des



mathématiques que l'on n'utilise pas s'étiolent. J'avais été séduit et j'avais discuté avec lui. J'avais bien aimé cela parce que cela permet de ne pas être gêné par ce paradoxe apparent. Bizarrement, il a aussi défendu, plus tard, l'idée que les mathématiques pourraient être à la base du réel.

Actuellement, je côtoie des mathématiciens à l'Académie. L'Académie a cet avantage de nous faire rencontrer des tas de gens que, sinon, on ne verrait pas, et on discute avec eux de façon informelle. Je constate que les mathématiciens, dans leur majorité, ont aujourd'hui une attitude très ouverte sur la physique. D'ailleurs, plusieurs, parmi ceux qui ont été élus récemment, développent des trucs inspirés par la physique. Parfois, on trouve qu'ils enfoncent des portes ouvertes en rendant rigoureuses des choses défrichées par des physiciens. L'exemple type est la théorie physique des verres de spin de Giorgio Parisi. Il a fait un truc brillant, mais qui mathématiquement... Justifier cela avec des mathématiques rigoureuses est important, même s'il n'y a pas de résultat nouveau, parce que chez Giorgio, c'est un peu de la poésie, même si cela a été révolutionnaire.

Je me suis souvent intéressé à l'histoire des sciences. Il y a un livre que j'ai beaucoup aimé. Publié par l'historien des sciences états-unien Stephen Brush en 1976, il s'appelle *The Kind of Motion We Call Heat*¹³. C'est un livre très riche, très intéressant. C'est de la physique, mais il y a toute une analyse des philosophies de l'époque, qui montre pourquoi autant de gens refusaient l'hypothèse atomique. C'était pour toutes sortes de raisons différentes. Il est amusant de voir toutes ces raisons.

Un ingénieur des Mines, Alexandre Moatti, a publié en 2007 un livre sur les ennemis d'Einstein : *Einstein, un siècle contre lui*¹⁴. C'est intéressant de voir pourquoi ils ont été aussi nombreux et quelles étaient leurs motivations. Des tas de gens étaient contre, pour toutes sortes de raisons différentes, parfois scientifiques, parfois philosophiques, parfois politiques ou antisémites. Je ne savais pas qu'à un moment donné, en France, certains étaient contre Einstein parce qu'il était allemand. C'est quand même extraordinaire. Par exemple, il n'a pas été invité aux réunions au Collège de France, en 1918 et 1920. Il a été obligé de parler uniquement à la Société française de physique.

Il y a aussi un article de 2015 de l'historien des sciences français Olivier Darrigol que j'aime bien, qui s'appelle « *Why some physical theories should never die* »¹⁵. Il définit d'abord une théorie physique en caractérisant ses relations avec les mathématiques et avec le réel, ce qui nécessite de faire des approximations. Il y ajoute l'idée de « modularité » de la science : lorsqu'une nouvelle théorie est élaborée, elle n'oblitére pas complètement la précédente. Elle peut emprunter à celle-ci un « module », qui est un élément issu de la théorie antérieure nécessaire à la nouvelle théorie et compatible avec elle. Par exemple, le formalisme quantique, irréductiblement probabiliste, ne décrit pas un système individuel, mais un ensemble statistique de systèmes semblables. Mais pour interpréter une mesure quantique, on a besoin de conserver l'idée, issue de la physique classique, que les indications d'un appareil de mesure prennent des valeurs macroscopiquement définies pour chaque mesure individuelle. De plus, ces valeurs sont approximatives si on les considère à l'échelle microscopique. Tout ceci est un « module », rajouté au formalisme quantique, qui permet son utilisation concrète. Ainsi, pour un ensemble de spins non polarisés, la mécanique quantique ne permet pas de distinguer un axe d'orientation privilégié. Ce caractère abstrait est surmonté lorsqu'on effectue une mesure : grâce au caractère macroscopique de l'appareil, orienté par

¹³ NdIR : Stephen Brush, *The Kind of Motion We Call Heat*, 2 volumes, Amsterdam, North Holland (1976).

¹⁴ NdIR : Alexandre Moatti, *Einstein, un siècle contre lui*, Paris, Odile Jacob (2007).

¹⁵ NdIR : Olivier Darrigol, "Why some physical theories should never die", *Évora studies in the philosophy and history of science. In memoriam Hermínio Martins*, 319-368 (2015).

exemple selon l'axe (Oz), chaque mesure individuelle fournit un résultat bien défini, soit $z=+1$ soit $z=-1$. C'est sur cette question du rôle de l'appareil de mesure que j'ai travaillé dernièrement.

Liens internationaux tissés aux États-Unis et à l'École des Houches

HRC

Accepteriez-vous de terminer en nous parlant brièvement des chercheurs étrangers que vous avez côtoyés ?

Roger BALIAN

Bien sûr. Pendant mes séjours à l'étranger, en particulier aux États-Unis, j'ai rencontré de nombreux physiciens théoriciens et collaboré avec plusieurs d'entre eux. Nous avons par exemple élaboré la théorie de la phase B de l'hélium 3 avec Richard Werthamer, établi la structure analytique de la fonction de partition près d'une transition de phase avec Jim Langer. L'École des Houches m'a fait aussi connaître une très grande quantité de professeurs et d'élèves, dont certains ont obtenu un prix Nobel ou une médaille Fields. J'ai aussi écrit un papier, court mais joli, avec Giorgio Parisi (prix Nobel de physique en 2021), lorsqu'il était visiteur dans notre labo.

J'ai eu des rapports particulièrement étroits avec Walter Kohn (prix Nobel de chimie en 1998). Il a énormément compté pour moi pendant que j'étais à La Jolla, en Californie. Ma rencontre avec Walter Kohn a été déterminante pour ma formation. Lorsque j'étais élève en 1958 aux Houches, Keith Brueckner avait fait un cours de physique nucléaire. Après avoir discuté avec Bloch, qui guidait mon travail, il m'avait invité à La Jolla. C'était à l'époque une université en voie de création, la future Université de Californie à San Diego (UCSD). Les bâtiments n'existaient pas encore. Des physiciens venaient de s'y installer. On était logés dans des bâtiments plus ou moins préfabriqués qui étaient dans l'Institut d'océanographie. Il n'y avait pas encore d'étudiants. C'était très bien. J'y suis resté un an, mais j'étais très isolé, au début, en l'absence de Brueckner. Un jour, j'ai reçu un petit papier qui disait : « *Professor Brueckner would be on campus* », parce qu'il s'était débrouillé pour se trouver un job à Washington, alors qu'il était en principe basé là, à La Jolla. J'étais donc resté sans tuteur. J'ai eu la chance formidable de tomber sur Walter Kohn, qui m'a accordé une heure par semaine régulièrement.

HRC

Il travaillait là ?

Roger BALIAN

Walter Kohn allait devenir professeur à l'Université de San Diego en création. Il y avait Kohn, John Schrieffer, d'autres gens extraordinaires en attente de la création de cette nouvelle université dont ils avaient été nommés professeurs. Je dois tout à Walter Kohn, parce que tout le travail que j'ai fait là-bas a été supervisé par lui, toutes les semaines. Je devais lui rendre compte de ce que j'avais fait pendant la semaine, une méthode américaine qui est formidable, le *tutoring*. Il était à la fois ferme et gentil, tout à fait formidable. J'ai travaillé aussi avec James Langer, qui avait à peu près mon âge. Il a été, plus tard, président de l'*American Physical Society*. Walter Kohn a aussi été proche de Denis Jerome. Plus tard, tous les ans, il venait à Paris et on se réunissait, avec Denis Jerome et d'autres, avec nos familles, dans un restaurant du Quartier latin. Cela faisait partie d'une tradition amicale. Walter est venu jusqu'au dernier moment.



J'ai bien connu aussi Rudolf Peierls. Il était le directeur de thèse de Cirano De Dominicis, avec qui j'ai beaucoup travaillé. Peierls m'avait invité en Angleterre, dans le jury de thèse de l'un de ses élèves. Plus tard, on discutait physique lorsqu'il venait à Saclay, ce qu'il faisait assez souvent. Nous l'avons reçu plusieurs fois à la maison, avec sa femme. C'était une personnalité tout à fait étonnante. Il avait une pipe, il ne disait rien mais approuvait de la tête ce que disait sa femme. Celle-ci était russe, de la famille d'un physicien russe. Elle était d'une exubérance incroyable ! De nombreux autres physiciens sont aussi venus à la maison.

