

## MARCEL FROISSART (1934-2015)

Né le 20 décembre 1934 à Paris, et mort le 21 octobre 2015 à 80 ans, Marcel Froissart a eu cinq enfants et dix petits-enfants. Sa famille venait de Picardie et il a gardé sa vie durant un appartement au Touquet. Marcel Froissart est un petit-fils d'Antonin Daum (1864-1930), qui a, avec son frère, rendu célèbre la cristallerie, et le beau-frère de Michel Jeanson (1913-2013), à l'origine du parc ornithologique du Marquenterre, en baie de Somme.

Marcel Froissart était un grand physicien, un théoricien de premier plan, éblouissant dès le début de sa carrière. Ses contributions ont eu un grand impact dans les années 1960, lorsqu'il avait la trentaine et visitait Berkeley ou Princeton aux États-Unis. Son nom est resté dans le patrimoine scientifique mondial, pour avoir découvert en 1961 la borne de Froissart sur le comportement des sections efficaces de collision des particules à haute énergie. Bien que très mathématiques, ses travaux sont utiles aux expérimentateurs. Amateur de discussions et de débats, Marcel Froissart aide les étudiants, illumine et inspire tout un laboratoire. Peu à peu, se détournant de la théorie pour l'expérimentation, il est élu au Collège de France en 1973, où il est attendu pour être responsable d'un grand laboratoire en restructuration. Ce nouveau laboratoire de Physique corpusculaire (LPC) est associé à toute la fin de carrière de Marcel Froissart. Il deviendra le Laboratoire PCC de Physique corpusculaire et cosmologie en 1998, sous la double tutelle du Collège de France et du CNRS. À partir de 2001, il est associé à l'université Paris 7, pour préparer sa mutation vers le laboratoire APC (Astroparticule et Cosmologie) sur le nouveau campus Paris Rive Gauche. Le déménagement a lieu entre 2004 et 2006, peu après le départ en retraite de Marcel Froissart.

### BIOGRAPHIE

Marcel Froissart a toujours été un étudiant extrêmement brillant. Dès 1951, sa photographie est en première page des journaux, suite à l'obtention la même année du premier prix au Concours général de mathématiques et à celui de physique. Après des études au lycée Montaigne, puis au lycée Louis-le-Grand, il est reçu major à l'École polytechnique, dans la promotion de 1953. Comme école d'application, il choisit l'École nationale supérieure des mines de Paris en 1955. Notons qu'il avait aussi deux frères polytechniciens. Après six mois seulement d'études aux Mines, les événements l'envoient en coopération dans la marine, en Algérie. Il est détaché en 1957 au CEA

(Commissariat à l'énergie atomique), puis envoyé au CERN à Genève en 1957-1958. Il repart ensuite en coopération civile à l'université d'Alger en 1958-1959.

C'est cette décennie des années 1960 qui sera la plus riche pour ses travaux scientifiques, portant sur les sections efficaces de collision entre particules. C'est l'époque de l'épanouissement de la « physique des particules » dans le monde. Le CERN est créé en 1954, l'énergie des accélérateurs s'accroît de plus en plus vite. Pour égaler les accélérateurs américains qui vont de 0,5 à 1 GeV, l'institut de physique nucléaire (IPN) d'Orsay est créé, grâce aux efforts d'Irène et Frédéric Joliot-Curie, l'accélérateur linéaire (LAL) et le synchrotron de Saclay (futur Saturne) grâce à Yves Rocard, de l'ENS. Ils vont remplacer le cyclotron historique du Collège de France, du laboratoire de Frédéric Joliot (professeur au Collège de 1937 à 1958) qui n'accélérait les protons que jusqu'à 13 MeV. Marcel Froissart va effectuer plusieurs séjours aux États-Unis, notamment à l'université de Californie à Berkeley, en 1960-1961. Il collabore en particulier avec Geoffrey Chew, connu pour sa théorie des interactions fortes, élève d'Enrico Fermi, et superviseur de David Gross, Nobel de physique 2004. À l'époque, Marcel Froissart avec Geoffrey Chew travaillent sur la matrice  $S$ , finalement abandonnée dans les années 1970 au profit de la chromodynamique quantique. C'est dans le cadre de la théorie des cordes qu'Edward Witten réinterprète la théorie de la matrice  $S$  comme une description en espace plat du principe holographique. Marcel Froissart va ensuite à l'université de Princeton en 1961-1962, et 1965-1966. En 1964 il reçoit le prix Paul Langevin décerné par la Société française de physique. Durant cette période, Marcel Froissart travaille en France au CEA à Saclay. À partir de là, et jusqu'à la fin de sa carrière, il n'écrit pratiquement plus rien : peut-être le complexe d'un travail trop brillant au début. Comme il est difficile de faire mieux, il s'arrête donc pour organiser le travail des autres.

Informaticien, il aimait les calculs, les simulations numériques. Il se rapproche donc des physiciens des particules, qui étaient les plus avancés en simulations numériques à l'époque. Il supervise des étudiants comme Jean Zinn-Justin, qui témoignera que la présence de Marcel Froissart au service de Physique théorique de Saclay a été déterminante pour rejoindre Saclay comme étudiant. Jean Zinn-Justin soulignera la virtuosité intellectuelle exceptionnelle de Marcel Froissart qui l'a beaucoup aidé à surmonter les obstacles techniques difficiles durant son travail de thèse.

Avec ses immenses qualités intellectuelles, Marcel Froissart a développé des aspects relativement abstraits de la théorie des interactions fondamentales. Il n'a pas seulement contribué à explorer les propriétés analytiques de la matrice  $S$ , mais il a aussi beaucoup contribué avec Roland Omnès, dans un article de revue de plus de 100 pages, à les expliquer aux expérimentateurs, donnant à tous la possibilité d'apprécier la profondeur de la théorie.

Au CERN, Marcel Froissart, en collaboration avec Glaser et Pauli, tentèrent en vain de sauver la théorie d'Heisenberg sur la violation de parité. On sait que durant la dernière année de sa vie Pauli eut une violente discussion avec Heisenberg, et renonça à publier leur article commun sur les particules élémentaires. À la conférence de La Jolla en 1961, Marcel Froissart présenta la borne qui porte son nom. Geoffrey Chew, en présentant son étude de la matrice  $S$  dit « nous avons une arme secrète, Marcel Froissart ». À la conférence de Berkeley en 1966, Marcel Froissart avec André Martin présenta la preuve de sa borne à partir de principes premiers. Il faut rappeler ici que cette borne physique est bien confirmée dans tous les accélérateurs, y compris le

LHC. À Princeton, Sam Treiman l'appelait « Monsieur Guillotine » : rigoureux et très critique, Marcel Froissart était intéressé par le calcul de haute précision.

En outre, il était honnête et intègre. Comme le raconte Olivier Pene, il ne défendait pas ses propres théories au-delà des limites raisonnables. Lors d'une discussion animée dans un restaurant, où il s'agissait de savoir si la borne de Froissart s'appliquait à la chromo-dynamique quantique (QCD), Marcel Froissart disait lui-même qu'elle ne s'appliquait pas, parce qu'il y a dans QCD un gluon de masse nulle, alors qu'Olivier Pene soutenait au contraire que la borne de Froissart s'applique, puisque le confinement construit des particules massives.

À la fin des années 1960, Marcel Froissart participait à l'activité scientifique et aux séminaires, organisés par le laboratoire d'André Berthelot (ancien élève de Frédéric Joliot) en collaboration avec des physiciens de l'École polytechnique et de Saclay, soit des théoriciens comme Raymond Stora, soit des expérimentateurs. Les jeunes physiciens participant à ces activités étaient très impressionnés par la borne de Froissart, et par Marcel Froissart lui-même dont l'humour était parfois caustique.

L'administration du CEA proposa à Marcel Froissart de prendre la tête d'un service expérimental de chambre à bulles à Saclay. Bien que cette activité fût loin de ses compétences, Marcel Froissart prit ses fonctions à la lettre, et s'amusa bien de ces petites tâches ingrates de chef de service. Plus tard au Collège de France la tâche fut plus rude.

Peu à peu il perdit son intérêt pour la physique théorique, et se tourna vers la physique expérimentale. Marcel était une personne très agréable, consciente de sa valeur mais avec modestie. Dans sa leçon inaugurale, il remercie Anatole Abragam, de l'avoir « si judicieusement réorienté il y a quelques années de la recherche purement théorique à la recherche expérimentale, qui, à l'usage, m'apparaît tellement plus solide et sérieuse que la spéculation théorique vite née et vite oubliée. »

C'est donc en 1973 à 39 ans que Marcel Froissart est élu professeur au Collège de France dans la chaire de Physique corpusculaire. Après sa leçon inaugurale en 1974, il enseigne pendant 30 ans ! Mais la tâche la plus difficile qui l'attend alors est de fonder un nouveau laboratoire de physique corpusculaire, à partir des deux plus gros laboratoires du Collège de France de l'époque, le laboratoire de Physique atomique et moléculaire, dirigé par Francis Perrin (haut-commissaire au CEA et fils du prix Nobel Jean Perrin), et celui de Physique nucléaire dirigé par Louis Leprince-Ringuet, qui prennent leur retraite la même année, en 1972. Les deux laboratoires, dont l'effectif total est de plus de 200 personnes, se sont développés dans plusieurs directions, assez éloignées de leur motivation première, et sont souvent en concurrence et conflit. Pour éviter ces situations difficiles, le Collège de France prône alors la politique des petites unités, aisément mobiles, qui peuvent suivre plus facilement le renouvellement des thématiques des chaires, qui changent au départ des professeurs. La tâche qui incombe alors à Marcel Froissart est de réduire progressivement la taille du laboratoire, tout en maintenant une activité scientifique de qualité. Cet effort de restructuration était aussi incontournable, du fait de l'évolution considérable des techniques. Si un grand nombre de techniciens était nécessaire dans le laboratoire de Leprince-Ringuet pour lire les clichés de chambre à bulles, les trier après coup et en déduire les propriétés des particules, les ordinateurs vont permettre bientôt la lecture automatique, puis les dispositifs électroniques comme les chambres à fil (invention de G. Charpak en 1968) la numérisation et le filtrage immédiat, en temps réel. D'autre part, les chercheurs se sont redéployés selon leurs thématiques. Les physiciens du laboratoire préparant le LHC du CERN,

entré en service en 2008, ont rejoint soit l'IPN d'Orsay, soit le LPTHE de Jussieu. La réorganisation et l'accompagnement de tous les chercheurs dans des directions différentes a été menée par Marcel Froissart avec le concours de Pierre Bareyre comme directeur scientifique, d'une façon la plus humaine possible. Une majorité de chercheurs se sont tournés vers l'astroparticule : le laboratoire a alors pris le nom de « Physique corpusculaire et cosmologie » (PCC).

Daniel Vignaud en prend la direction en 1999. Au départ de Marcel Froissart à la retraite, en 2004, ce laboratoire a constitué le noyau du nouveau laboratoire APC de Paris 7-Diderot, avec des chercheurs provenant de cette université, de l'Observatoire de Paris et du CEA. Le laboratoire APC est situé aujourd'hui au bâtiment Condorcet, dans le 13<sup>e</sup> arrondissement de Paris.

Marcel Froissart a eu un rôle majeur et bénéfique dans l'accompagnement de la transition du PCC vers l'APC, ainsi que dans l'émergence de l'astroparticule en France.

Marcel Froissart suivait de près tous les travaux en physique des particules, et pouvait se passionner et même s'enflammer pour des idées nouvelles. C'est ainsi qu'il s'est retrouvé dans les années 1990 au centre de la controverse sur le rubbiatron. Baptisé d'après Carlo Rubbia, alors directeur du CERN, et prix Nobel en 1984 pour la découverte des particules W et Z en 1983, le rubbiatron est le mariage d'un accélérateur de particules, source de protons très énergétiques, avec un réacteur nucléaire. Les protons accélérés frappent du plomb fondu. Il en résulte une floraison de neutrons servant à provoquer la fission nucléaire d'une cible d'uranium naturel ou de thorium. C'est en 1993 que Carlo Rubbia annonce aux médias la technique qu'il vient de breveter, comme solution radicale et définitive à tous les problèmes de l'énergie nucléaire. Si Carlo Rubbia et Marcel Froissart (qui ont exactement le même âge !) considèrent cet engin comme absolument idéal, il n'en est pas de même pour beaucoup de chercheurs du CNRS et du laboratoire LPC du Collège. Des discussions homériques eurent lieu au sein du laboratoire.

En fait, le dispositif n'est pas viable. Le matériau devient dangereux car il ne reste pas sous-critique (ou alors il n'y a pas d'amplification, et pas de réacteur). Après une commission d'enquête de l'Assemblée nationale (OPECST) et le rapport de Claude Birraux, les travaux sont arrêtés définitivement en 2003.

Marcel Froissart a également permis le développement du Groupement des scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire (GSIEN), une association antinucléaire française créée en 1975, dont la présidente est Monique Sené, chercheur CNRS et membre du laboratoire LPC du Collège de France. Les membres de ce groupement participent à des expertises de projets nucléaires en France et à l'étranger. Il s'est fait notamment remarquer dans les médias après la catastrophe de Tchernobyl.

Marcel Froissart et Monique Sené ont travaillé ensemble dès 1974 sur les problèmes du nucléaire civil et Marcel Froissart s'est engagé de façon remarquable dans l'étude de la sûreté, la radioprotection et surtout l'analyse de l'application industrielle de grandes découvertes comme la fission. Ce travail d'analyse a été réalisé et publié en 1976 dans le courrier du CNRS.

On a proposé à Marcel Froissart de faire partie de l'Académie des sciences, mais il n'a pas accepté, pensant qu'il n'avait rien à y apporter.

## LE QUOTIDIEN DU LABORATOIRE

Marcel Froissart était un directeur de laboratoire très attentionné, aimait bien aller discuter avec tout le personnel, quelles que soient sa formation ou ses connaissances. Il aidait les personnes à trouver des formations, à augmenter leurs qualifications, et à retrouver un travail conforme à leurs aspirations, dans les nouvelles structures, et les nouveaux équipements de la science en mouvement rapide. Il aimait bien discuter avec tous les thésards, commenter leurs recherches, leur donner des idées. Selon Arache Djannati-Atai, un de ses anciens étudiants, Marcel Froissart a pris le temps de corriger son manuscrit de thèse, comme il le faisait pour pratiquement tous les documents qui sortaient de son laboratoire.

La gouvernance du laboratoire était démocratique : comité de direction avec tous les responsables, mais aussi des observateurs externes. Pour être efficace, les réunions étaient toujours à 11h du matin (2h maximum), et l'ordre du jour affiché, ainsi chacun pouvait apporter des commentaires. Marcel Froissart encourageait le dialogue et la participation, avec humour.

Comme le dit Chantal Bréon, sa fidèle assistante, les cours au Collège lui prenaient un temps non négligeable. Changer de thème tous les ans le forçait à faire des recherches bibliographiques poussées.

Marcel Froissart, bricoleur, aimait travailler de ses mains. Il avait toujours un opinel dans sa poche, ce qui lui permettait de revisser des boulons ici ou là, pour remettre en fonctionnement un ascenseur, ou un matériel de labo. Il discutait longuement avec les mécaniciens. Il suivait ainsi les préceptes du livre de scoutisme de son oncle, Michel Froissart, commissaire de district des Scouts de France à Fontainebleau dans les années 1930, créateur du froissartage : construction de tables, cabanes avec des morceaux de bois (par tenons et mortaises). Une vie donc bien remplie entre théorie et expérimentation.

Pr Françoise COMBES, 20 mars 2016

## PRINCIPAUX TRAVAUX DE MARCEL FROISSART

L'article pour lequel Marcel Froissart est le plus connu est celui de 1961 dans *Physical Review* : « Asymptotic Behaviour and Subtractions in the Mandelstam Representation », qui a attiré 815 citations. On parle de « borne de Froissart » dans le langage courant. Il l'a écrit alors qu'il travaillait à Berkeley avec Geoffrey Chew, sur les sections efficaces des collisions des particules, mesurées notamment dans les accélérateurs. À l'époque, il était très répandu d'essayer de calculer des probabilités de diffusion, ou les amplitudes de « scattering », avec la matrice  $S$ . Les calculs étaient complexes, étaient faits par perturbations et développements en série, que ce soient la diffusion par un potentiel, ou les résultats de collisions entre deux particules. La représentation de Mandelstam permettait de calculer les probabilités, ou amplitude de diffusion, en se servant de l'unitarité, et en fonction des échanges d'énergie et de moment angulaire, tout en évitant les développements avec un nombre trop important de particules. Marcel Froissart a démontré de façon mathématique rigoureuse que la « section efficace totale » de collision de deux particules scalaires ne peut pas augmenter plus vite que le carré du logarithme de l'énergie de la collision. Cette limitation ou « borne de Froissart » était très utile à

l'époque. En effet, les accélérateurs montaient progressivement en énergie, et on n'avait qu'une idée très floue du comportement des sections efficaces. Il a démontré le comportement asymptotique des sections efficaces d'une façon rigoureuse, mais aussi très concise, en cinq pages seulement. Les interactions fortes entre particules se font à très courtes distances, par des échanges de particules de masse moyenne, des mésons ( $\Pi$  par exemple). Notons qu'à cette époque, la physique des particules était encore dans ses débuts, on parlait de muon comme d'un méson, on sait aujourd'hui que le muon est un neutrino. À grande distance, les interactions sont faibles, ce qui permet d'obtenir des limites décroissant exponentiellement avec le paramètre d'impact.

Signalons aussi l'étude avec Raymond Stora de la stabilité de la polarisation de protons relativistes polarisés dans un synchrotron, montrant l'existence d'énergies de résonance conduisant au retournement de la polarisation. L'article « Dépolarisation d'un faisceau de protons polarisés dans un synchrotron » de Froissart et Stora (1960) est écrit en français dans *Nuclear Instruments & Methods*, avec uniquement un *abstract* en anglais. Ceci afin de traquer tous les effets parasites qui dépolarisent le faisceau, alors que le but est de produire des protons polarisés. La méthode est d'injecter des protons polarisés verticalement dans un synchrotron horizontal. L'article montre que des irrégularités du champ peuvent dépolariser légèrement, mais les effets les plus forts sont dus à des résonances. La conclusion donne des pistes pour essayer d'éviter cette dépolarisation en pratique.

#### PUBLICATIONS DE MARCEL FROISSART

Marcel FROISSART et Raymond STORA, « Dépolarisation d'un faisceau de protons polarisés dans un synchrotron », *Nuclear Instruments and Methods*, North-Holland, vol. 7, n° 3, juin 1960, p. 297-305.

Marcel FROISSART, « Asymptotic Behavior and Subtractions in the Mandelstam Representation », *Physical Review*, American Physical Society, vol. 123, n° 3, août 1961, p. 1053-1057.

Roland OMNÈS et Marcel FROISSART, *Mandelstam Theory and Regge Poles: An Introduction for Experimentalists*, New York et Amsterdam, W.A. Benjamin, 1963.

Dimitri FOTIADI, Marcel FROISSART, Jean LASCoux et Frédéric PHAM, « Applications of an isotopy theorem », *Topology*, Pergamon Press, vol. 4, 1965, p. 159-191.

Marcel FROISSART, « Constructive Generalization of Bell's Inequalities », *Il Nuovo Cimento B*, Italian Physical Society, vol. 64, n° 2, août 1981, p. 241-251.

Maurice BENAYOUN et Marcel FROISSART, « Some topics on light-flavour meson physics », *Nuclear Physics B*, North-Holland, vol. 315, n° 2, mars 1989, p. 295-360.

Brevet 1988 : « A device for two-dimensional localization of current-generating events on a resistive surface », brevet américain n° 4 788 384 (en coll. avec Roger Bruère-Dawson, Bernard M. Maréchal et Marcio N. de Souza), déposé par le CNRS.