

Eléments d'histoire du développement de la physique nucléaire et des particules élémentaires en Belgique *

P. Marage**

La physique nucléaire et la physique des particules élémentaires ont connu un développement significatif en Belgique depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Cet essor a bénéficié du rôle spécifique de la Belgique dans le paysage nucléaire, et fut marqué par l'action de plusieurs personnalités influentes dans les domaines scientifique et politique, ainsi qu'en témoigne le rôle important de la Belgique dans la mise sur pied du CERN. Les équipes scientifiques belges ont pu ainsi disposer d'instruments leur permettant de contribuer de manière significative au développement de la connaissance, ainsi qu'à la qualité de l'enseignement et au progrès technique. L'objet de cet article est de présenter brièvement les développements principaux de la recherche fondamentale dans deux domaines fort proches au départ, qui se sont progressivement séparés sous l'effet de dynamiques différentes.¹

1. LA PERIODE D'AVANT-GUERRE

La Belgique a été le lieu, dans la première moitié de ce siècle, de l'un des événements les plus marquants de l'histoire de la physique moderne : la tenue des Conseils de Physique Solvay, en particulier ceux de 1911, 1927 et 1933, qui jalonnent les premières étapes du développement de la mécanique quantique et de la physique nucléaire². Cependant, avant et juste après la guerre de 1914-1918, la place des scientifiques belges dans l'histoire de la physique est fort modeste, mis à part le cas de Joseph Plateau (1801-1884)³ à l'Université de Gand. Comme le dit Timmermans : *“Dans le domaine des sciences expérimentales et naturelles, c'est seulement à la fin du XIXème siècle que les centres de recherche universitaires acquièrent le personnel et le matériel indispensables pour permettre un travail dans des conditions relativement favorables. Ce fut cependant surtout après 1920, durant la période de reconstruction du pays, que les quatre universités obtinrent les ressources nécessaires à une expansion vraiment sérieuse.”*⁴ Ceci est particulièrement vrai de la physique⁵.

* Publié dans : « Histoire des Sciences en Belgique, 1815-2000 », éd. R. Halleux, J. Vandersmissen, A. Despy-Mayer, G. Vanpaemel, La Renaissance du Livre, Bruxelles, 2001, vol. 2, pp. 85-108.

** Physicien, chargé de cours à l'ULB.

¹Les limites de cet article ne permettent pas de viser à l'exhaustivité, ni même de rendre compte de nombreuses contributions importantes. Inévitablement, ce survol est aussi le produit de choix subjectifs et le reflet des compétences et des affinités de l'auteur, qui présente par avance ses excuses à tous les chercheurs auxquels il n'aura pas rendu justice.

²voir P. Marage et G. Wallenborn, “Le rôle des Conseils Solvay dans l'élaboration de la physique moderne”, dans le présent ouvrage.

³P. Brien d'après G. Van der Mensbrugge, “Joseph Plateau”, in *Florilège des Sciences en Belgique*, Académie Royale de Belgique, Bruxelles 1968, t. 1, p. 185 sq.

⁴J. Timmermans, “Science in Independent Belgium”, in *Belgium. The United Nation Series*, éd. J.-A. Goris, Univ. of California Press, 1945.

⁵Dans sa contribution au très officiel et solennel *Le mouvement scientifique en Belgique 1830-1905* (sous la dir. de C. Van Overbergh, Schepens et Cie, Bruxelles 1907), P. de Heen reconnaît pudiquement que *“Le nombre des hommes qui se sont livrés aux recherches concernant la physique est relativement restreint dans notre pays.”* (t. I, p. 367)

Les deux physiciens belges qui assistent aux Conseils Solvay de l'immédiat après-guerre, Edmond Van Aubel (1864-1941)⁶ et Jules-Émile Verschaffelt (1870-1955)⁷, sont des savants de qualité, mais leurs recherches ne portent pas sur la microphysique, et ni l'un ni l'autre ne présentera aux Conseils de communication ni ne participera activement aux débats⁸.

Dès avant la première guerre mondiale, il est cependant un physicien belge qui s'illustre par une production scientifique de très haut niveau en rapport avec les thèmes débattus aux Conseils Solvay, auxquels il participera activement à partir de 1924 : c'est Théophile De Donder (1872-1957)⁹. Après un séjour à Paris, où il travaille notamment auprès de Poincaré, il se consacre à la théorie des invariants intégraux, au calcul des variations et à la théorie de la relativité. Relativiste convaincu, De Donder est d'ailleurs l'un des premiers savants à correspondre avec Einstein sur sa théorie de la gravitation¹⁰. Il transmettra ces intérêts à ses nombreux élèves. Parmi ceux-ci, une place d'honneur revient à Jules Géhéniau (1909-1991)¹¹, qui travailla également avec Louis de Broglie et, professeur à l'ULB, publia de nombreux travaux remarquables en théorie des champs, en électrodynamique quantique et en relativité générale. Par ailleurs, les cours de De Donder sur la thermodynamique et la chimie physique constitueront, notamment par l'intermédiaire de son élève Frans van den Dungen (1898-1965), l'un des points de départ de l'école bruxelloise de thermodynamique illustrée par I. Prigogine.

Dans l'histoire de la physique théorique, les années '20 sont celles d'un formidable développement dans la compréhension des phénomènes atomiques. Succédant à l'*ancienne théorie des quanta* de Bohr, une nouvelle *mécanique quantique* se constitue en 1925-1926, avec les contributions de de Broglie et Schrödinger (mécanique ondulatoire et théorie de la fonction d'onde), de Dirac (algèbre quantique non-commutative), et de Heisenberg, Born et Jordan (mécanique des matrices). En 1925 encore, Pauli propose son principe d'exclusion, et Uhlenbeck et Goudsmit introduisent la notion de spin. Enfin, en 1927, Heisenberg avance son principe d'incertitude. Dès lors, la théorie quantique est mathématiquement définie pour l'essentiel, et c'est sur des questions d'interprétation que s'affronteront Einstein et Bohr au fameux cinquième Conseil Solvay, en 1927. L'année suivante, Dirac formulera sa théorie quantique relativiste.

En Belgique, la nouvelle théorie est progressivement introduite dans l'enseignement supérieur, et de jeunes chercheurs s'en emparent. Parmi eux, Léon Rosenfeld (1904-1974)¹² apportera des contributions fondamentales dans de nombreux domaines de la physique. Diplômé de l'université de Liège, Rosenfeld passe un an à Paris où il fréquente de Broglie et Langevin, deux ans à Göttingen comme assistant de Max Born, et travaille à Zurich sous la direction de Pauli. A partir de 1929, il effectue de très nombreux séjours auprès de N. Bohr, avec qui il collabore étroitement pour clarifier les fondements de la mécanique quantique, ce

⁶“Edmond van Aubel”, in *Liber Memorialis. Notices biographiques*, Université de Gand, Vanderpoorten, Gand 1913, p. 304.

⁷P. Brien d'après E. Henriot, “Jules-Émile Verschaffelt”, in *Florilège des Sciences en Belgique*, op. cit., t. I, p. 205 sq.

J.E. Verschaffelt, numéro 37 de la série *Uit het verleden van de RUG*, Gand 1995.

⁸Verschaffelt, diplômé de l'Université de Gand, titulaire du cours de physique générale à l'ULB de 1906 à 1914, puis professeur à Gand à partir de 1923, remplit pourtant de 1921 à 1933 la lourde fonction de secrétaire des Conseils.

⁹J. Géhéniau, “Théophile De Donder”, in *Florilège des Sciences en Belgique*, op. cit., t. 1, p. 169 sq.

¹⁰voir *Einstein et la Belgique*, catalogue d'exposition, Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique, Bruxelles 1979, p. 16 sq.

¹¹M. Demeur, “Jules Géhéniau”, Bulletin de la Classe des Sciences, t. III n°10-11, Académie Royale de Belgique, Bruxelles 1992, p. 16 sq.

¹²J. Serpe, “Léon Rosenfeld”, in *Florilège des Sciences en Belgique*, Académie Royale de Belgique, Bruxelles 1980, t. 2, p. 389 sq.

qui en fait l'un des principaux protagonistes de l'*École de Copenhague*. En 1930, il est nommé chargé de cours, puis professeur à l'université de Liège, où il a comme élève Jean Serpe, qui étudia notamment la théorie mathématique du neutrino à deux composantes. Rosenfeld renoncera à sa charge à Liège en 1941, après avoir accepté une chaire à Utrecht; en 1947, il part pour Manchester, et accepte finalement une chaire à Nordita (Copenhague) en 1958. Parmi ses très nombreuses activités, Rosenfeld mit sur pied la revue *Nuclear Physics*, dont il fut le rédacteur en chef.

L'un des plus grands physiciens belges est sans conteste G. Lemaître (1894-1966), pionnier de la cosmogénèse, inventeur d'un modèle d'expansion de l'univers à partir d'un "atome primitif", dans le cadre de la théorie de la relativité générale d'Einstein¹³. Dans un domaine plus proche de ceux qui nous concernent ici, Lemaître s'est également intéressé au rayonnement cosmique et, de 1933 à 1955, a consacré une quinzaine d'articles à l'étude de leurs trajectoires dans le champ magnétique terrestre. Nommé chargé de cours à l'UCL dès 1925, il a contribué à y former des générations de physiciens. Il faut aussi mentionner ici Charles Manneback (1894-1975)¹⁴, nommé chargé de cours à l'UCL en 1922, et qui y tiendra une place de premier plan dans la recherche et l'enseignement de la physique mathématique, ses domaines de prédilection étant la propagation des ondes radio et la théorie des spectres de vibration et de rotation des molécules.

Dans le domaine expérimental, les années 1930 voient les développements spectaculaires donnant naissance à la physique nucléaire. En 1932, Chadwick découvre le neutron, Anderson le positon (dans le rayonnement cosmique) et Urey le deutérium, isotope de masse 2 de l'hydrogène. En 1929, Lawrence a construit à Berkeley le premier cyclotron, d'un diamètre de quelques centimètres. Perfectionnant sans cesse ses machines en augmentant leur diamètre, l'intensité des faisceaux et l'énergie atteinte par les protons accélérés, il observe pour la première fois en 1932 une réaction provoquée par des protons accélérés dans un cyclotron. De leur côté, à Cambridge, Cockroft et Walton étudient les réactions nucléaires induites par des protons accélérés grâce à un accélérateur électrostatique en cascade. Au septième Conseil Solvay, en 1933, Heisenberg présentera un rapport sur la structure du noyau atomique incluant la notion d'isospin, et Pauli discutera l'existence d'une nouvelle particule, le neutrino; s'emparant de cette idée, Fermi proposera dans les semaines qui suivent une théorie étonnamment achevée de la radioactivité β . Et les découvertes continuent à se succéder à un rythme accéléré: radioactivité artificielle par Joliot et Curie en 1934, production de nombreux isotopes nouveaux par Fermi et le groupe de Rome, reconnaissance d'éléments de masse intermédiaire parmi les produits de désintégration de l'uranium par Hahn et Strassman, interprétation du processus de la fission par Meitner et Frisch en 1939.

On l'a dit, la tradition de recherche en physique expérimentale est pauvre en Belgique avant la première guerre mondiale. Mais en 1922 est engagé à la Faculté polytechnique de l'ULB pour le cours de physique appliquée un jeune professeur de nationalité suisse, Auguste Piccard (1884-1962)¹⁵, spécialisé dans les mesures de précision en magnétisme (il a été l'assistant de P. Weiss à Zurich) et en radioactivité. Vers 1925, l'Union Minière du Haut-Katanga ressent la nécessité d'un étalonnage indépendant de sa production de radium et fait appel à Piccard et à son assistant Paul Kipfer, dans le cadre d'un *Institut des Mesures* établi

¹³Les contributions fondamentales de Lemaître sont présentées ailleurs dans le présent ouvrage. On peut aussi se reporter à *Georges Lemaître et l'Académie royale de Belgique. Oeuvres choisies et Notice biographique*, Académie royale de Belgique, Classe des Sciences, Bruxelles 1995.

¹⁴M. Biot, "Charles Manneback", in *Florilège des Sciences en Belgique*, op. cit., t. 2, p. 371 sq.

¹⁵A. Jaumotte, "Piccard", in *Biographie Nationale*, t. XLI, éd. E. Bruylant, Bruxelles 1979-1980, p. 649 sq. P. de Latil et J. Rivoire, *Le Professeur Auguste Piccard*, Savants du Monde, Seghers, Paris 1962.

dans ce but à l'ULB¹⁶. De nationalité suisse également, Kipfer (1905-1980) mènera une double carrière, à l'Union Minière et à la Faculté des Sciences appliquées de l'ULB où il assurera des tâches importantes d'enseignement et de coordination de la recherche en physique nucléaire et en électronique. Dans les années '30, Piccard contribua aux études sur le rayonnement cosmique, dont le savant allemand V. Hess avait montré dès 1911 qu'il provenait de la haute atmosphère en utilisant des détecteurs emportés par ballon. Piccard construisit des ballons lui permettant de s'élever à très haute altitude, qui lui valurent une notoriété mondiale¹⁷.

De son côté, l'UCL engage en 1929 comme chargé de cours Marc de Hemptinne (1902-1986), qui s'est formé auprès de Victor Henry et de Paul Scherrer à Zurich. Spécialiste de la spectroscopie moléculaire, de Hemptinne s'attache à exploiter les nouveaux développements expérimentaux. S'inspirant de travaux de Manneback, il étudie les spectres de molécules où des atomes d'hydrogène sont remplacés par des atomes de deutérium. En 1936, il construit un séparateur d'isotopes (carbone 13) : c'est la naissance du "Département de Physique Nucléaire et Moléculaire" de l'UCL. Puis, après une visite à Lawrence, à Berkeley, il se fixe pour objectif de doter l'UCL d'un cyclotron, en vue de produire des atomes radioactifs permettant d'étudier la structure moléculaire. En 1939, après un séjour à Berkeley de ses collaborateurs J.-M. Delfosse et P. Capron (1905-1978), des contacts sont pris à cet effet avec les ACEC, mais le projet déjà bien avancé est interrompu par la guerre¹⁸.

Enfin, des activités de physique et de chimie nucléaire commencent à l'université de Liège en 1935¹⁹, et Guében travaille à y mettre au point un accélérateur électrostatique.

2. LA MISE EN PLACE (DE LA LIBERATION AUX ANNEES '60)

La deuxième guerre mondiale marque un tournant dans la conscience qu'ont les responsables politiques et l'ensemble des citoyens de la puissance de la technique : n'est-ce pas celle-ci qui, dans une large mesure, a permis aux Alliés de gagner la guerre ? La conscience est vive également de ce que le progrès technique repose sur le progrès scientifique et la recherche fondamentale, ainsi que l'illustre le rôle des physiciens pendant la guerre, qu'il s'agisse de la construction du radar en Angleterre, ou plus encore de la réalisation des bombes atomiques américaines. D'autre part, après l'utilisation dramatique de l'arme nucléaire à Hiroshima et Nagasaki et dans un contexte de guerre froide commençante, nombreux sont ceux qui placent leurs espoirs d'un monde meilleur dans l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, ou en tout cas y voient une source d'énergie potentiellement rentable.

¹⁶Le radium, à usage principalement médical, est extrait depuis 1922 du minerai de la mine kantagaise de Shinkolobwe à l'usine de Oolen de la Société Générale Métallurgique de Hoboken. voir J. Vanderlinden, "Marie Curie et le radium 'belge' ", in *Marie Sklodowska Curie et la Belgique*, ouvrage collectif, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles 1990, p. 98 sq.

¹⁷La plus palpitante des expéditions de Piccard fut celle qu'il entreprit avec Kipfer en 1931 à bord du FNRS I (le tout jeune FNRS avait financé l'expédition). A cause d'un défaut de fonctionnement du dispositif de descente, Piccard et Kipfer dérivèrent pendant plusieurs heures, et finirent par atterrir à plusieurs centaines de kilomètres de l'endroit prévu. La presse, qui les croyait perdus, tint le public en haleine. En 1932, Piccard, accompagné cette fois de Max Cosyns, atteignait l'altitude record de 16940 m. Il est amusant de savoir que dès 1926 Piccard et son collaborateur Ernest Stahel (lui aussi de nationalité suisse et professeur à l'ULB) avaient organisé un vol en ballon pour tester en altitude la théorie de la relativité en utilisant un interféromètre de Michelson.

¹⁸P. Macq, "Marc de Hemptinne, Fondateur des Cyclotrons de Belgique", *Physicalia Magazine* 8 n°2, 1986, p. 91 sq.

¹⁹A. Pirard, "La Faculté des Sciences", in *L'Université de Liège 1936-1966. Notices historiques*, Liège 1966, p. 146.

Il n'est pas étonnant dès lors que les recherches en physique nucléaire (au sens large) connaissent un vigoureux essor après la guerre. Dans le cas particulier de la Belgique, on sait le rôle essentiel qu'a joué dans la construction de la bombe d'Hiroshima l'uranium "belge" (congolais!) fourni par l'Union Minière²⁰. L'apport financier retiré de la vente de l'uranium et les avantages en termes d'accès aux technologies nucléaires négociés par les industriels et responsables politiques belges avec les Américains contribueront au grand développement de l'industrie nucléaire en Belgique²¹ et, indirectement, à celui des recherches appliquées et fondamentales.

Durant les dix années qui suivent la guerre, la physique des particules élémentaires ("physique nucléaire des hautes énergies") se sépare progressivement de la physique nucléaire proprement dite ("basses énergies") : objets de connaissance, machines (accélérateurs), techniques de détection se différencient de plus en plus²²; la physique des particules connaît un essor qui en fait l'un des domaines les plus dynamiques de l'après-guerre sur le plan scientifique. La science belge s'inscrit dans ce mouvement, tant par le développement de ses équipes de recherche que par sa contribution très active à la mise sur pied du CERN.

Sur le plan institutionnel, la recherche reste centrée sur les laboratoires universitaires, soutenus par la mise en place de nouveaux organismes, en particulier l'Institut Interuniversitaire des Sciences Nucléaires, intimement lié au FNRS.

a. L'Institut Interuniversitaire des Sciences Nucléaires

Dès 1943, le FNRS prépare la relance de l'activité scientifique en Belgique après la guerre²³. Peu après la Libération, une commission présidée par le prorecteur de l'ULB, F. van den Dungen, reçoit pour mission "*l'étude des problèmes en rapport avec l'énergie nucléaire*". Constatant la faiblesse des recherches dans ce domaine avant-guerre, elle envisage deux types de structures possibles : soit créer une institution nationale nouvelle (sur le type par exemple de l'Observatoire), soit soutenir les laboratoires universitaires existants, tout en les encourageant à collaborer. La commission se prononce pour la seconde solution, car la première aurait dépouillé les universités de leurs équipes de recherche et d'enseignement²⁴.

Suivant cette orientation est créé en 1947 l'*Institut Interuniversitaire de Physique Nucléaire*, association de fait placée sous la direction du Directeur du FNRS, Jean Willems, et de M. de Hemptinne. L'IIPN soutient la recherche fondamentale, sans négliger des recherches plus proches des applications, notamment des études à Gand dans le groupe de Verhaege et à Louvain autour de M. de Hemptinne sur la diffusion et l'absorption des neutrons lents, ou encore les recherches menées à l'ULB par J. Van Impe sur la préparation d'uranium métal pur, qui débouchent sur le dépôt de brevets²⁵.

En 1951, l'IIPN est remplacé par l'*Institut Interuniversitaire des Sciences Nucléaires*, institution d'utilité publique, chargé de "*susciter, promouvoir et coordonner (...) les recherches scientifiques relevant des sciences nucléaires à l'exclusion des applications* (nous soulignons)". L'IISN, dont la mission est désormais clairement limitée à la recherche

²⁰ainsi que pour la première pile atomique européenne (ZOE), construite en France par Joliot en 1948.

²¹voir *Un demi-siècle de nucléaire en Belgique. Témoignages*, P. Govaerts, A. Jaumotte, J. Vanderlinden éd., Presses interuniversitaires européennes, Bruxelles 1990.

²²Le Congrès de Pise, en 1955, est pratiquement le dernier congrès commun aux deux sciences.

²³H. Balthazar, "FNRS 1928-1978. Une esquisse historique", in *FNRS 1928-1978*, Fonds National de la Recherche Scientifique, Bruxelles, s.d., p. 53.

²⁴P. Buch, E. Mund et J. Vanderlinden, "Aux origines de l'effort nucléaire belge", in *Un demi-siècle de nucléaire en Belgique*, op. cit., p. 23 sq.

²⁵ibid. p. 26 et p. 47 sq.

fondamentale, reste étroitement associé au FNRS, les titulaires des fonctions de Directeur (Jean Willems) et de Secrétaire Général (Max Fréson) étant les mêmes au sein des deux institutions, qui sont hébergées dans le même bâtiment, Rue d'Egmont, à Bruxelles. Les recteurs des quatre universités, de la Faculté Polytechnique de Mons et de l'École Royale Militaire sont membres de son Conseil d'Administration.

La création de l'IIPN puis de l'IISN permettra à la Belgique de disposer de scientifiques pouvant consacrer tout leur temps à la recherche, ce qui n'est généralement pas possible dans le cadre universitaire. Les chercheurs financés par l'IIPN / IISN sont au nombre de 10 en 1947, 34 en 1951, 130 en 1959 (ainsi que, à ce moment, 162 membres du personnel technique). Quant aux crédits, ils sont fournis par le Ministère de l'Instruction publique puis, à partir de 1952, également par le Commissariat à l'Énergie Atomique, grâce aux bénéfices dégagés sur les contrats de vente d'uranium aux États-Unis²⁶.

Le Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire

Le domaine appliqué, en rapport avec les réacteurs, échappe donc à l'IISN, pour relever du *Centre d'Études pour les Applications de l'Énergie Nucléaire* (CEAEN), créé en 1952, qui deviendra en 1957 le *Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire* (CEN), dont les installations de recherche seront installées à Mol. La création de cette institution distincte de l'IISN semble avoir eu notamment pour but de faciliter les relations découlant des contrats de vente d'uranium avec les Américains²⁷; elle devait aussi probablement permettre de rassurer les Américains en écartant de l'accès aux technologies nucléaires les membres jugés trop "à gauche" de la Faculté des Sciences de l'ULB.

En ce qui concerne la formation des scientifiques et des ingénieurs belges, certains visiteront le réacteur d'Oak Ridge, aux États-Unis, dès 1949, mais sans avoir accès aux technologies de pointe. Cependant, l'envoi d'une mission d'une dizaine de Belges pour suivre des cours approfondis à Argonne en 1952 jouera un rôle important dans le développement ultérieur de l'industrie nucléaire belge²⁸. Le CEN développera une intense activité relative aux réacteurs (en particulier les études des propriétés des matériaux utilisés pour les réacteurs) et poursuivra également un programme de recherche et développement en métallurgie et chimie nucléaires, ainsi qu'en traitement des déchets²⁹. Le centre de Mol aura encore des contributions, dans le domaine expérimental, en physique du neutron, en physique de l'état solide et en radiobiologie³⁰, ainsi qu'en physique théorique.

b. La physique nucléaire

Les programmes universitaires des années '50

Comme on l'a vu, M. de Hemptinne avait, dès avant la guerre, le projet d'installer un cyclotron à l'université de Louvain. Au début de 1945, il rencontrait à Londres Guy Tavernier, qui travaillait à Imperial College à la construction d'un accélérateur de Van de Graaff de 2 MeV³¹. Peu après, il envoya à Londres pour quelques mois son étudiant Luc Gillon³², qui construira bientôt un accélérateur de Van de Graaff à l'UCL³³.

²⁶ibid. p. 30 sq. et 42 sq.

²⁷ibid. p. 47.

²⁸ibid. p. 43 sq.

²⁹J. Planquart, "Histoire du Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire - CEN/SCK", in *Un demi-siècle de nucléaire en Belgique*, op. cit., p. 201 sq.

³⁰ibid., p. 281 sq.

³¹G. Tavernier, "La Belgique et le nucléaire après la seconde guerre", in *Un demi-siècle de nucléaire en Belgique*, op. cit., p. 74.

Le projet de construction du cyclotron put bientôt se concrétiser grâce à un crédit important attribué en 1947 par l'Union Minière à chacune des quatre universités belges. A l'initiative de de Hemptinne, ce crédit sera utilisé par l'UCL, avec le soutien financier de l'IIPN, pour faire construire par les ACEC un cyclotron de 13 MeV accélérant des deutons, qui sera installé au Centre de Physique Nucléaire à Heverlee. De 1952 à 1959, ce cyclotron fut consacré à la production d'isotopes radioactifs utilisés en physique nucléaire et à celle de neutrons rapides pour la chimie nucléaire, puis à l'étude des réactions nucléaires et à la spectroscopie d'états à très courte durée de vie³⁴.

A Gand, la chaire Francqui au titre étranger avait été proposée pour 1946-1947 à F. Joliot, qui ne put l'accepter en raison de ses charges de Haut-Commissaire à l'Énergie Atomique. Sur sa proposition, elle fut occupée par André Berthelot (1912-1986)³⁵, dont les cours furent suivis par 50 à 60 auditeurs réguliers. S'étant entouré de collaborateurs français et belges, Berthelot mit sur pied un laboratoire de physique nucléaire, qui fut bientôt repris par Julien Verhaege (1905-1972). Au milieu des années '50, le groupe de physique nucléaire de l'université de Gand construisit son premier accélérateur linéaire d'électrons (LINAC), d'une énergie de 1,5 à 4,3 MeV, qui fonctionnera avec succès pendant plusieurs années, permettant au groupe d'acquérir une expérience qui reste vivante aujourd'hui dans l'utilisation de ce type d'accélérateurs ainsi que dans la construction et le maintien en fonctionnement de la ligne de faisceau³⁶.

A l'université de Liège également, les recherches en physique nucléaire se poursuivirent, avec notamment l'installation en 1956 d'un accélérateur de Van de Graaff de 2 MeV au laboratoire du professeur Léon Winand, au Val-Benoît³⁷, et en 1972, avec le soutien de l'IISN, l'installation au Sart Tilman d'un Van de Graaff de 3 MeV, utilisé aussi en physique atomique. Enfin, des accélérateurs de Cockroft-Walton étaient en fonctionnement à l'École Royale Militaire, à l'ULB et au centre de physique nucléaire des Facultés Polytechniques de Mons.

Il convient encore de mentionner ici, quoique ce ne soit pas directement notre objet, les recherches en chimie nucléaire menées par Julien Hoste à Gand avec un réacteur piscine, par Paul Capron à l'UCL et par Georges Duyckaerts à Liège, les travaux de métrologie nucléaire de Kipfer et Devooght à l'ULB, et les recherches liées à l'énergie nucléaire dans les différentes universités.

³²Recteur de l'université de Lovanium à Léopoldville, Gillon y installa peu avant l'indépendance du Congo le premier réacteur nucléaire d'Afrique centrale (il s'agissait en fait de la pile de démonstration présentée à l'Expo 58).

³³ Celui-ci fut remplacé au début des années '60 par un accélérateur de 4 MeV, encore en fonctionnement à Louvain-la-Neuve, utilisé pour l'étude de la diffusion de neutrons par les noyaux, des tests de symétrie et l'étude de la matière condensée.

³⁴Sur les machines de l'UCL, voir P. Macq, op. cit., et P. Macq, "Le cyclotron isochrone de l'UCL et sa vocation interuniversitaire", *Nouvelles de la science et des technologies* 3 n°2, 1985, p. 43 sq. Dans ce dernier article, P. Macq explique qu'un apport important de ce cyclotron fut de permettre la constitution d'une équipe dynamique de jeunes physiciens, de susciter la création d'ateliers de mécanique et d'électronique indispensables au progrès des techniques expérimentales, et enfin de nouer des liens entre physiciens et chimistes et médecins.

³⁵Berthelot entra au CEA en 1947 comme chef du service de Physique Nucléaire, puis dirigea le service de Physique corpusculaire à Haute Energie à partir de sa création en 1958. voir "*En hommage à André Berthelot*", Commissariat à l'Énergie Atomique, non publ., 1988.

³⁶W. Mondelaers, "The Ghent State University Linear Accelerator Facilities", *Physicalia Magazine* 8 n°4, 1986, p. 273.

³⁷A. Pirard, op. cit., p. 144.

L'avis d'un expert

Au milieu des années '50, les programmes belges témoignent donc d'une certaine dispersion et, pour ce qui est de la recherche fondamentale, ne sont pas toujours très compétitifs sur le plan international. Par ailleurs, la physique nucléaire et la physique des particules sont en train de se différencier rapidement³⁸, cette dernière connaissant une véritable explosion grâce à la mise en service en 1952 du *Cosmotron* de 3 GeV à Brookhaven (New York) et en 1954 du *Bevatron* de 6 GeV à Berkeley. Bientôt le *PS* de 25 GeV du CERN à Genève sera à son tour mis en fonctionnement (fin 1959), suivi de l'*AGS* de Brookhaven l'année suivante. La question se pose donc des perspectives de la recherche en Belgique et de la meilleure manière d'optimiser les ressources. Dans cet esprit, le bureau de l'IISN, présidé par Willems, demande à l'automne de 1957 un rapport d'expertise au professeur G.B. Collins, président du département du *Cosmotron*, en congé sabbatique en Europe.

Collins visite longuement les centres de recherche belges, et remet au printemps suivant un rapport de neuf pages³⁹ qui aura une influence particulière sur l'évolution de la physique des particules. Ce rapport nous intéresse cependant dans ce chapitre consacré à la physique nucléaire, car il offre le regard d'un témoin extérieur. En fait, Collins est assez critique. Selon lui, trop d'efforts sont consacrés essentiellement à faire fonctionner les machines, souvent du reste de conception dépassée⁴⁰. Il critique aussi le manque de collaboration entre les centres, leur manque d'ouverture internationale, et le manque de chercheurs de la tranche d'âge de 22 à 35 ans⁴¹. Enfin, estimant que la physique nucléaire ne joue plus un rôle d'avant-garde⁴², il propose la création d'un laboratoire interuniversitaire en physique des particules, pour lequel il détaille une série de propositions que nous présenterons plus loin.

Le jugement d'ordre général porté par Collins sur la physique nucléaire apparaît de nos jours comme excessif, même s'il est sans doute vrai que, sous l'impulsion des vastes possibilités d'applications industrielles, l'indéniable essor de la physique nucléaire s'est réalisé de manière assez désordonnée, avec un certain gaspillage des ressources et peut-être sans une réflexion suffisante sur les développements véritablement intéressants et prometteurs.

A l'échelle belge, le diagnostic posé par Collins contient cependant une part importante de vérité, et il a aidé l'IISN et les responsables académiques à éviter de mettre tous leurs

³⁸Ainsi, si le mot de *nucléaire* apparaît dans la dénomination du CERN (*Centre Européen pour la Recherche Nucléaire*), c'est plutôt pour des raisons historiques et d'opportunité politique, car il est clair que le laboratoire sera consacré principalement à la physique des particules.

³⁹G.B. Collins, *Une étude des centres de recherche de physique nucléaire de Belgique*, s.d., inédit.

La plus grande partie des textes cités ci-dessous est soulignée dans l'original; pour alléger la présentation, nous y avons renoncé ici.

⁴⁰«Dans les centres, il apparaît presque toujours qu'il y a une lutte fatigante menée avec des ressources inadéquates pendant une période si longue que la mise au point de l'accélérateur devient pratiquement le seul objectif de recherche. (...) Une grosse part des efforts est dépensée en essais de mise au point et de maintien en fonctionnement d'accélérateurs de conception dépassée. Il est improbable que de ces efforts puisse résulter une contribution utile à la connaissance.» (ibid. p. 2)

⁴¹«En cherchant l'explication du fait que les centres dans leur ensemble ne fonctionnent pas comme ils le devraient, deux remarques viennent en évidence : 1) il y a moins de collaboration entre les centres qu'on pourrait espérer (...); il y a aussi, à quelques exceptions près, trop peu de contacts avec les physiciens des autres pays et il en résulte une espèce d'isolement qui empêche toute stimulation et toute critique mutuelle entre les centres eux-mêmes et entre ces centres et le monde extérieur (...); 2) il semble qu'il y a comparativement peu de physiciens zélés et intelligents entre les âges de 22 et 35 ans.» (ibid. p. 3)

⁴²«J'exprime l'opinion qu'il est peu probable que la continuation actuelle du programme des centres conduise à la maîtrise nécessaire dans le domaine de la physique. Il en est principalement ainsi parce que la physique nucléaire, champ d'action des centres, n'est plus ce qu'il y a de principal en physique (...) Je doute que le remède soit simplement une question d'argent.» (ibid. p. 3-4)

moyens dans la construction désordonnée d'une série d'accélérateurs de basse énergie consacrés à la physique nucléaire.

De nouvelles machines

Au début des années '60, un projet ambitieux fut proposé par la Commission des Basses Énergies de l'IISN, présidée par M. de Hemptinne et dont le secrétaire était Marcel Demeur, professeur de physique nucléaire théorique à l'ULB. Il s'agissait de créer un grand laboratoire national interuniversitaire autour d'un accélérateur performant, qui serait un point d'attraction et de rencontre entre expérimentateurs et théoriciens éparpillés dans les universités et au CEN de Mol. Parmi les objectifs proposés figuraient l'étude des collisions d'ions lourds (M. Demeur) et le développement d'un travail de pointe en spectroscopie nucléaire (P. Macq). Dans le climat de luttes linguistiques de l'époque, le projet fut enterré par le premier Ministre et Ministre de la Politique scientifique CVP, Théo Lefèvre.

Les nouveaux développements en physique nucléaire expérimentale restèrent donc le fait des équipes universitaires, en particulier à l'UCL sous l'impulsion de Marc de Hemptinne et la direction de Pierre Macq. Une occasion fut fournie par l'obligation faite en 1965 à l'université francophone d'implanter dans le Brabant Wallon ses nouveaux laboratoires de recherche. La décision fut bientôt prise d'installer à Louvain-la-Neuve un cyclotron isochrone d'une centaine de MeV, qui pourrait servir d'injecteur à une machine encore plus puissante. Le financement de la machine et de son installation fut fourni par les fonds de recherche de l'UCL, par le fonds spécial de transfert de l'université et par l'IISN. Le transfert complet de l'UCL à Louvain-la-Neuve, décidé entre-temps, commença par celui du département de physique, et la nouvelle machine, baptisée CYCLONE (CYClotron de LOUvain-la-NEUve) entra en fonction en 1972. Elle devint bientôt un outil utilisé également sur une base interuniversitaire et internationale⁴³.

A Gand un LINAC de 90 MeV fut acheté et installé en 1965, le système de transport du faisceau et l'installation étant essentiellement l'oeuvre du laboratoire lui-même, selon la tradition chère à ce groupe.

c. Physique des particules élémentaires

Le laboratoire de l'ULB

On se rappelle que, dès avant la guerre, Piccard⁴⁴, Kipfer et Cosyns s'étaient intéressés à l'ULB au rayonnement cosmique. Ces recherches furent poursuivies et développées avec l'engagement en 1948 de Giuseppe Occhialini comme chercheur associé au *Centre de Physique Nucléaire* créé en 1947 à l'initiative de membres des Facultés des Sciences et des Sciences appliquées, dont J. Géhéniau.

Occhialini (1907-1994)⁴⁵ était un savant mondialement connu, en particulier pour deux contributions de toute première importance. En 1932, Blackett et lui avaient équipé une chambre de Wilson (chambre à brouillard) d'un dispositif basé sur la coïncidence de deux compteurs Geiger, permettant de la déclencher au passage de particules. Cette chambre exposée au rayonnement cosmique leur permit en 1933 de confirmer la découverte du positon par Anderson, et d'observer la production de paires électron-positon dues à la conversion de

⁴³P. Macq, op. cit.

⁴⁴Après ses ascensions en ballon stratosphérique, Piccard se consacra à la construction du *bathyscaphe* pour l'exploration des fonds marins. Ayant passé la guerre en Suisse, il ne reprit qu'assez tardivement (1947) et partiellement ses activités à Bruxelles.

⁴⁵M. Demeur, *In memoriam G.P.S. Occhialini*, non publ.

photons énergétiques, conformément à la théorie de Dirac. Le retour d'Occhialini en Italie fut de courte durée, car dès 1937 il s'expatria au Brésil en 1937 en raison de son opposition au fascisme. En 1945, il rejoignait à Bristol le groupe de C.F. Powell, qui travaillait à mettre au point des émulsions photographiques en couches épaisses permettant de visualiser le passage de particules chargées. Occhialini exposa à la fin de 1946 une vingtaine de ces plaques à l'observatoire du Pic du Midi. Au développement, il apparut qu'avait été enregistrée la trace d'une nouvelle particule, le méson π prévu par Yukawa en 1935, et sa désintégration en une autre particule, le muon μ , que l'on put assimiler à la composante pénétrante observée en 1937 dans le rayonnement cosmique⁴⁶.

L'article rapportant la découverte de Powell et Occhialini marque à proprement parler le point de départ d'une nouvelle physique, celle des particules élémentaires, dont la liste s'enrichit bientôt avec la découverte dans le rayonnement cosmique de la production de particules baptisées "étranges", les mésons K et hypérons Λ .

Sous l'impulsion d'Occhialini, le laboratoire de l'ULB, visité par de nombreux chercheurs étrangers, développa une réelle maîtrise dans le traitement, extrêmement délicat, de l'émulsion nucléaire et l'étude des caractéristiques (masse et durée de vie) des particules produites par le rayonnement cosmique, qui était la seule source des nouvelles particules à l'époque. A partir de 1954, Occhialini se partagea entre Milan et Bruxelles, où il resta professeur associé jusqu'en 1964.

Comme celui de toute la physique des particules en Belgique, l'avenir du laboratoire de l'ULB fut marqué par le rapport de Collins à l'IISN, par l'accent mis sur la physique des particules, et par l'insistance sur le regroupement des moyens, qui allait mener bien plus tard à la création de l'IIHE.

Les recommandations de Collins

La partie la plus originale et la plus intéressante du rapport de Collins à l'IISN concerne ses suggestions quant aux missions du laboratoire interuniversitaire (post-doctoral) de physique des particules dont il proposait la création, et à la formation de son cadre de chercheurs.

Pour lui, "*le laboratoire servirait de base aux centres existants. Il ne devrait en aucune manière devenir un autre laboratoire relativement indépendant et ne devrait à aucun moment constituer un fardeau pour les centres existants. (...) La collaboration devrait s'établir soit sous forme de courtes visites au laboratoire, soit sous forme de séjours étendus (...) Il devrait servir de centre de formation et d'essai pour les membres des facultés universitaires.*" (p. 4-5)

Concrètement, Collins suggère d'éviter la construction en Belgique d'un nouvel accélérateur. En effet, pour que celui-ci puisse fournir des résultats utiles dans le domaine de la physique des particules, il devrait atteindre 0,5 à 3 GeV, ce qui "*constituerait une étape initiale trop vaste (...). La construction d'un tel accélérateur ne pourrait être achevée dans un temps raisonnable sans créer de grandes difficultés dans les installations existantes en détournant leur personnel au profit de l'accélérateur.*" (p. 5)

Collins propose plutôt "*que l'activité du nouveau laboratoire tourne autour de la préparation et de l'analyse des expériences effectivement faites avec des accélérateurs de haute énergie situés dans d'autres pays.*" (p. 7) Cette proposition, inspirée par l'expérience

⁴⁶Blackett fut récompensé par le prix Nobel en 1948 et Powell en 1950. Pour une brève description de ces travaux, on peut se reporter aux biographies de Blackett et Powell dans *The Nobel Prize Winners - Physics*, vol. 2, éd. par F.N. Magill, Salem Press, Pasadena - Englewood Cliffs 1989.

interuniversitaire de Brookhaven, anticipe sur la pratique qui se développera massivement durant les années '60 et '70 en Europe, autour du CERN. Elle était pourtant loin d'aller de soi à l'époque⁴⁷.

Enfin, Collins fait des propositions très concrètes concernant la formation du cadre scientifique : *“Un petit groupe de jeunes physiciens compétents, accoutumés aux techniques modernes de la physique des particules, devrait être instruit pour diriger le laboratoire. En conséquence, je suggère que l'on établisse un programme de bourses postdoctorales destinées aux études dans les institutions spécialisées en dehors de la Belgique. Les bourses devraient habituer ces hommes et ces femmes à communiquer et à coopérer avec leurs collègues à travers le monde en même temps qu'elles leur serviraient à obtenir la meilleure formation possible. (...) On devrait accorder annuellement entre 3 et 6 bourses, mais uniquement sur la base du mérite des candidats, (pour) des périodes d'étude longues de 6 mois à 1 an.”* (p. 8)

Le Laboratoire Interuniversitaire Belge des Hautes Énergies

Le programme proposé par Collins fut mis en oeuvre pour l'essentiel. Max Fréson, secrétaire général du FNRS, s'y attacha tout particulièrement. Pour former le cadre, de jeunes scientifiques des quatre universités de l'époque furent envoyés à l'étranger à partir de 1959. Trois groupes partirent ainsi, chaque fois pour trois stages d'un an, à Saclay dans le service dirigé par A. Berthelot, au CERN dans le groupe de Kovarski et Goldschmidt-Clermont, et à Berkeley chez L. Alvarez. D'autre part, un *Laboratoire Interuniversitaire Belge des Hautes Énergies* (LIBHE) fut créé à Bruxelles dès 1961. Il fut d'abord installé provisoirement rue du Trône, puis dans les locaux de l'École Royale Militaire, rue Hobbema, sur le site du laboratoire du vide du professeur Emile Thomas⁴⁸. A. Berthelot était président du Comité de Direction, Y. Goldschmidt-Clermont et E. Thomas étant associés à la direction. En 1964, Fernand Grard fut nommé directeur du laboratoire; issu de l'ULB et chercheur IISN aux Facultés Polytechniques de Mons, il venait d'effectuer les trois stages prévus au programme de Collins. L. Rosenfeld joua le rôle de Directeur directement responsable auprès de l'IISN, visitant régulièrement le laboratoire et se faisant son porte-parole auprès de l'IISN pour les demandes de crédit. Le LIBHE compta rapidement une dizaine de chercheurs issus de l'ULB-VUB, de l'UCL-KUL et de Gand (Liège se tenant apparemment à l'écart de la physique des hautes énergies).

Un programme spécifique de soutien à la physique des particules fut lancé⁴⁹. Le LIBHE se spécialisa rapidement dans une technique de pointe, appelée à un grand développement, celle de la chambre à bulles. Développées à Berkeley par Glaser puis par Alvarez et ses collaborateurs à partir de 1952, les chambres à bulles permettent de reconstruire la trajectoire et de mesurer l'impulsion des particules chargées, moyennant un travail infiniment plus rapide que la technique de l'émulsion nucléaire, et ainsi d'accumuler de grandes statistiques d'interactions recueillies auprès des accélérateurs de particules. Grâce à elles, des dizaines de nouvelles particules, les “résonances”, seront découvertes au cours des années '50 et '60, permettant un progrès considérable dans la compréhension de la structure de la matière (modèle des quarks). Le LIBHE se consacra essentiellement à l'étude, par l'exploitation des clichés de chambres à bulles à hydrogène du CERN, des interactions entre mésons K^+ et protons et deutons, en particulier l'étude de la production de résonances et des caractéristiques générales des interactions entre hadrons.

⁴⁷Non seulement les physiciens n'avaient pas comme aujourd'hui une tendance “spontanée” à voyager, mais au CERN même, des conflits opposèrent longtemps les physiciens qui y étaient basés à titre permanent et les physiciens “extérieurs”.

⁴⁸Ce laboratoire venait d'être détruit par un incendie...

⁴⁹P. Buch, E. Mund et J. Vanderlinden, op. cit., p. 31.

L'Institut Interuniversitaire des Hautes Énergies (ULB-VUB)

Cependant, le laboratoire de l'ULB, dirigé de fait par Jean Sacton dès son retour de stage à Saclay en 1960⁵⁰, continue son développement indépendant du LIBHE, avec un programme de recherche qui reste centré dans un premier temps sur l'utilisation de la technique de l'émulsion nucléaire⁵¹. Celle-ci est désormais utilisée auprès des accélérateurs du CERN et de Brookhaven pour étudier la physique des hyperons et celle des hypernoyaux, pour laquelle elle est particulièrement bien adaptée : en étudiant les produits de la désintégration d'un noyau après la capture d'un méson K, on peut obtenir des informations sur les interactions entre hyperons et nucléons ainsi que sur la structure du noyau. En raison du travail considérable que représente le dépouillement au microscope de quantités importantes d'émulsion, ces expériences furent en fait les premières à imposer la mise en place de collaborations internationales comptant jusqu'à une dizaine de laboratoires.

Dans le courant des années '60, ce laboratoire entreprit de diversifier ses activités, en participant au dépouillement de clichés de chambres à bulles à liquides "lourds" (fréon, propane) et cryogéniques, pour étudier notamment les propriétés des particules étranges et de leurs interactions avec la matière, ainsi que les caractéristiques des interactions de hadrons sur hydrogène et sur deutérium.

La jeune VUB, séparée depuis peu de l'ULB, ayant créé un département de physique des particules élémentaires dirigé par Jacques Lemonne, l'ULB et la VUB décidèrent en 1972 de fonder l'Institut Interuniversitaire des Hautes Énergies (IIHE), au sein duquel les recherches sont menées depuis lors en commun⁵². En 1976, le laboratoire de l'IIHE fut installé dans les locaux de la VUB sur le campus de la Plaine.

Dans le courant des années '70, le climat de luttes linguistiques contribua à rendre difficile le maintien d'un laboratoire national comme le LIBHE, bien qu'un grand équilibre y eût régné entre chercheurs francophones et flamands. En prévision de la fermeture, un "directoire" directement responsable auprès de l'IISN fut formé, composé de F. Grard, J. Lemonne et J. Sacton .

En 1976, le LIBHE fut fermé et le personnel scientifique et technique se répartit, sur base du libre choix, entre l'IIHE et le service de physique des particules élémentaires mis sur pied et dirigé par F. Grard à l'université de Mons. Du côté flamand, le groupe de physique des particules élémentaires créé en 1973 à Anvers à l'UIA et dirigé par Frans Verbeure choisit de s'associer à l'IIHE et de ne pas entreprendre de développer une infrastructure autonome. L'IIHE prenait ainsi en quelque sorte le relai du LIBHE, mais sous la forme d'une "confédération" de laboratoires plutôt que sous celle d'un laboratoire national.

d. Le rôle de la Belgique dans la création du CERN

On ne peut retracer l'histoire de la physique des particules en Belgique sans évoquer la création du CERN, le *Centre Européen pour la Recherche Nucléaire*, et ce pour deux raisons :

⁵⁰Cosyns avait été amené à démissionner de l'université en 1954, suite notamment à une série d'incidents liés à la construction par les ateliers du Centre d'un treuil utilisé pour l'exploration du gouffre Saint-Martin, dans les Pyrénées, au cours de laquelle survint un accident mortel. La direction administrative du laboratoire fut alors assurée par P. Baudoux, professeur d'électricité générale à la Faculté des Sciences appliquées, le laboratoire lui-même étant animé, sous la supervision de Kipfer, par de jeunes chercheurs, notamment Guy Vanderhaeghe et Monique René, qui le quittèrent à la fin des années '50, respectivement pour le CERN et pour Saclay.

⁵¹Le développement autonome de ce laboratoire semble n'avoir pas été vu nécessairement d'un très bon oeil par l'IISN, et vers 1960 l'ULB, en la personne du prorecteur van den Dungen, est intervenue auprès de Willems pour le défendre.

⁵²*Scientific Activity Report 1972-1992*, IIHE (ULB-VUB), Bruxelles, s.d.

d'une part à cause du rôle central joué par le CERN pour les chercheurs belges, et d'autre part à cause du rôle très important joué par des Belges et par la Belgique en tant qu'État dans la création du CERN.

Il est évidemment impossible de résumer ici la création du CERN, qui a été remarquablement décrite dans une passionnante *History of CERN*, dont l'intérêt dépasse largement l'histoire du CERN lui-même⁵³. En fait, celui-ci constitue non seulement un centre d'excellence pour la physique, mais il est aussi un merveilleux laboratoire pour observer à l'oeuvre des groupes sociaux divers, porteurs de leurs aspirations et solidarités propres, de nature scientifique, politique, économique, nationale ou encore de classe d'âge, se mêlant et s'entremêlant. On tentera de relever ici le rôle joué par des acteurs belges.

Convergence d'intérêts

Pour simplifier outrageusement, on peut dire que le CERN est né de la convergence d'intérêts entre un groupe d'administrateurs de la science de haut niveau, animés au sortir de la guerre par un fort idéal européen et en même temps porteurs des intérêts nationaux de leur pays, et une couche de physiciens et d'ingénieurs relativement jeunes, ambitieux, et désireux de se hisser d'emblée au premier rang mondial. L'analyse détaillée voit varier au cours du temps le rôle des groupes en présence, l'impact des différents facteurs (y compris le rôle de développements techniques inattendus et les facteurs économiques ou stratégiques, voire militaires), ainsi que l'influence de groupes sociaux subsidiaires, notamment les partis politiques et les opinions publiques dans les différents pays concernés, ainsi que celle d'un certain nombre de scientifiques de l'"establishment", en particulier les prix Nobel.

Parmi les principaux acteurs figure dès le début le Belge Jean Willems (1895-1970)⁵⁴, secrétaire de l'ULB de 1921 à 1928, nommé par le roi Albert à la tête du FNRS dès sa fondation en 1928, et qui eut une impressionnante carrière de "grand commis de l'État" dans le domaine scientifique et universitaire. Comme les deux autres responsables scientifiques de très haut niveau qui joueront un rôle décisif dans la création du CERN, le Français Raoul Dautry, ancien ministre et Administrateur Général du Commissariat à l'Énergie Atomique et l'Italien Colonetti, président du Conseil national de la Recherche italien, Willems était un militant pro-européen convaincu⁵⁵.

L'une des étapes préparatoires importantes est la tenue à Lausanne d'une *Conférence européenne de la Culture*, en décembre 1949, en présence de nombreuses personnalités, dont Paul-Henri Spaak. La sous-commission chargée des questions scientifiques, à laquelle participent Willems et Manneback, avance l'idée d'une coopération européenne dans le domaine scientifique, et en particulier la création d'un Institut de Physique Nucléaire. L'étape suivante sera la réunion d'une Conférence de l'UNESCO à Florence, en juin 1950, où le prix Nobel américain Rabi, très proche des milieux officiels, fit une déclaration encourageant les pays européens à regrouper leurs efforts dans le domaine scientifique, et mentionna explicitement la physique nucléaire. Cette déclaration fut perçue comme signifiant un "feu vert" américain, et une résolution encourageant la formation de centres de recherche internationaux fut adoptée. Dans l'ensemble, il y eut donc à l'époque convergence entre les aspirations des scientifiques qui considéraient la création d'un tel centre comme un excellent

⁵³A. Hermann, J. Krige, U. Mersits, D. Pestre, *History of CERN*, North-Holland, Amsterdam Oxford New York Tokyo 1987 et 1990, 2 t.

⁵⁴J. Masure, "Willems", in *Biographie Nationale*, t. XLI, éd. E. Bruylant, Bruxelles 1979-1980, p. 798 sq.

⁵⁵Dans *History of CERN*, le nom de Willems est parmi les plus cités (une trentaine de fois), et se trouve très souvent associé à ceux de Dautry et Colonetti.

outil de recherche, et les préoccupations de responsables politiques pour qui il s'agissait plutôt d'un *moyen* de faire progresser l'idée européenne.

Soutien belge au projet le plus ambitieux

Durant les mois qui suivent, le physicien français Pierre Auger, Directeur du Département des Sciences exactes et naturelles à l'UNESCO, multiplie les consultations, qui débouchent sur une réunion d'experts, en décembre 1950⁵⁶. Dans un climat enthousiaste, les huit participants, provenant de France, d'Italie, de Belgique, des Pays-Bas, de Suisse et de Norvège, se prononcent pour la construction d'un grand accélérateur pour l'étude des particules élémentaires, plus puissant que ceux alors en construction à Brookhaven et à Berkeley. Très vite, les institutions scientifiques des trois pays moteurs de l'initiative, la France, l'Italie et la Belgique mettront à la disposition du projet les premiers financements pour le bureau d'étude⁵⁷.

La période qui suit est assez confuse. Les Anglais sont peu intéressés par le projet, car ils disposent à l'échelle nationale d'un équipement compétitif. Pour leur part, les Scandinaves sont sincèrement favorables à un projet européen mais préféreraient une évolution progressive, s'appuyant sur la coordination et le développement des institutions existantes (à commencer par l'institut de Bohr à Copenhague, qui serait le noyau du département de physique théorique de l'Organisation). Par contre, Français, Italiens et Belges (Verhaege et Capron⁵⁸) défendent fermement le projet le plus ambitieux. C'est que ces pays ne disposent pas à l'échelle nationale d'une infrastructure expérimentale ni de centres de recherche prestigieux comme celui de Bohr; ce sont aussi les pays où règne le sentiment européen le plus fort, ainsi qu'en témoigne la participation à une série d'autres initiatives (Plan Schuman, CECA, etc.).

En décembre 1951, l'UNESCO convoque à Paris une Conférence intergouvernementale à laquelle participent 13 pays, dont évidemment la Belgique. Une position de compromis est adoptée, qui donne en partie satisfaction aux Scandinaves sur le département de physique théorique, mais l'essentiel est acquis : la construction d'une grosse machine est décidée. Cette fois, les scientifiques ont compris que, quelles que soient leurs divergences d'appréciation, ils ont intérêt à présenter un front uni face aux gouvernements. Mais il est clair aussi que s'ils ont pu obtenir satisfaction, c'est grâce à la convergence de leurs intérêts avec ceux des responsables gouvernementaux soucieux d'un rapprochement européen qui favorisait leurs intérêts nationaux.

La réalisation

La mise en place de la nouvelle institution donna encore lieu à de nombreuses discussions, au cours desquelles les représentants belges maintinrent une attitude très dynamique. Une innovation technique majeure, la mise au point de l'accélération "par gradients alternés", permit de concevoir une machine beaucoup plus puissante que les

⁵⁶En fait, le caractère de la réunion a évolué. Initialement, Auger comptait inviter essentiellement des personnalités influentes. C'est ainsi que, pour la Belgique, il invita Willems et M. de Hemptinne, plutôt que Cosyns, proposé par un autre protagoniste très actif, Eduardo Amaldi, président de l'IUPAP (*International Union of Pure and Applied Physics*, organisme officieux regroupant tous les domaines de la physique). Mais les contacts préliminaires avaient permis un accord suffisant sur les objectifs pour que, à part Kramers, participant plutôt à la réunion des physiciens relativement jeunes (moyenne d'âge 42 ans), et utilisant activement des accélérateurs dans leurs recherches. Les représentants de la Belgique furent J. Verhaege et P. Capron. *ibid.* p. 104-105, p. 109.

⁵⁷Le versement de 50 000 francs belges est décidé dès le 23 février 1951 par le Conseil d'Administration de l'IIPN, et effectué peu après.

⁵⁸*ibid.* p. 126, 136.

machines américaines existantes : le PS (*proton synchrotron*), devant atteindre 25 GeV. Cette fois, les jeunes physiciens et ingénieurs britanniques se montrèrent intéressés par un projet qui dépassait ce qui pouvait être réalisé à l'échelle de leur seul pays, et apportèrent au CERN en train de se construire un soutien technique considérable.

La construction du PS impliqua un budget plus important que prévu. Une déclaration de Willems illustre son engagement personnel dans le projet : selon lui, si après quelques années les estimations initiales de coût du PS "*devaient apparaître financièrement irréalistes, les Gouvernements comprendraient certainement la nécessité d'augmenter leurs contributions.*"⁵⁹ Willems se comportait autant comme représentant du CERN auprès du gouvernement belge que comme représentant du gouvernement auprès du CERN...

A la fin de 1959, le PS était mis en fonctionnement, et l'accélérateur le plus puissant au monde se trouvait donc en Europe - même si les Américains disposèrent bientôt à Brookhaven avec l'AGS d'une machine légèrement plus puissante.

A côté du rôle politique important joué par la Belgique pour la création du CERN, il faut encore mentionner le rôle joué par les scientifiques et les ingénieurs belges attachés au CERN pour construire la machine et préparer les expériences. Il faut relever particulièrement le rôle de Pierre Germain (1922-1988), qui fut désigné chef de la division "opération" du PS quand celle-ci fut créée en 1959, et de Yves Goldschmidt-Clermont (1922-1988), attaché dès 1953 au CERN pour préparer l'instrumentation pour les expériences, et qui joua un rôle important dans la division expérimentale; il collabora avec le groupe du LIBHE dans des expériences utilisant les chambres à bulles à hydrogène. Tous deux enseignèrent à la Faculté des Sciences appliquées de l'ULB, respectivement à partir de 1957 et 1956.

Il faut mentionner également l'engagement au CERN d'autres chercheurs belges. C'est ainsi qu'un groupe de l'UCL s'est consacré à l'étude de l'interaction faible à travers la physique du muon au synchrocyclotron, et qu'un groupe de quelques physiciens, pour la plupart issus de l'ULB, se forma autour de Jean-Pierre Stroot et résida de manière permanente au CERN de la fin des années '60 à 1989; ce groupe se consacra principalement au développement de nouveaux détecteurs (notamment de compteurs Cerenkov) et à l'utilisation des techniques de compteur électronique dans diverses expériences.

3. DES ANNEES '70 A AUJOURD'HUI

La séparation entre physique nucléaire et physique des particules est désormais bien établie : chacune suit sa propre évolution, en termes de programmes de recherche et d'équipements comme en termes institutionnels.

La physique nucléaire s'intéresse désormais particulièrement aux situations extrêmes (noyaux comportant un grand excès ou un grand déficit de neutrons par rapport aux isotopes stables, noyaux très déformés, grands moments cinétiques, hautes énergies d'excitation). Elle joue un rôle essentiel dans les progrès de l'astrophysique (nucléosynthèse, modèles d'évolution stellaire, datation de l'évolution de l'univers). Sur le plan théorique comme sur le plan expérimental, elle voit certaines de ses méthodes utilisées dans d'autres domaines scientifiques (physique atomique et moléculaire, physique de l'état solide). Enfin, elle s'ouvre de nouvelles perspectives dans de nombreuses applications technologiques (science des matériaux, applications médicales et biologiques).

⁵⁹ibid. p. 282.

Pour sa part, la physique des particules poursuit son exploration des dimensions de plus en plus petites, requérant des accélérateurs de plus en plus puissants pour créer des énergies de plus en plus élevées, proches de celles régnant dans l'univers peu après le *big bang*. Elle noue ainsi un dialogue direct avec la cosmologie, les deux sciences s'informant mutuellement. Par ses très hautes exigences, elle reste également un domaine privilégié pour de nouveaux développements dans de nombreux domaines technologiques.

La séparation entre physique nucléaire et physique des particules s'accompagne cependant aussi - mais est-ce paradoxal ? - de l'apparition de nouveaux ponts entre elles. Physiciens nucléaires et physiciens des particules s'intéressent à la structure du noyau en termes de constituants élémentaires et à la modification de la structure du nucléon dans le noyau ("effect EMC"), ainsi qu'aux conditions extrêmes correspondant aux collisions entre noyaux à très haute énergie (plasma de quarks et de gluons).

Il importe sans doute ici de préciser les champs respectifs de ces deux sciences. En effet, la physique des particules s'intéresse aux forces fondamentales, dont la force "forte" à l'oeuvre dans les noyaux, et aux constituants élémentaires de la matière, dont les quarks et les gluons, qui sont donc également les constituants ultimes de la matière nucléaire. Il serait cependant simpliste de ne voir dans la physique nucléaire qu'un domaine "dérivé" ou "appliqué" de la physique des particules. En effet, les problèmes que se posent les physiciens nucléaires concernent la description de systèmes formés d'un grand nombre de protons et de neutrons. De ce fait même, la force forte "fondamentale" ne se manifeste qu'indirectement, et les physiciens nucléaires doivent avoir recours à des méthodes théoriques et expérimentales différentes de celles de la physique des particules⁶⁰.

a. Physique nucléaire

Le cyclotron de Louvain-la-Neuve

CYCLONE, le cyclotron isochrone de l'UCL, entré en service en 1972, fut construit en grande partie par les ACEC⁶¹. Il permet d'accélérer à des énergies comprises entre 0.5 et 90 MeV par nucléon des protons, des particules α et des ions lourds, depuis le carbone jusqu'au xénon. De multiples améliorations lui furent apportées par l'équipe d'ingénieurs de l'UCL menée par Yves Jongen et Guido Ryckewaert, en particulier le développement des sources d'ions lourds de charges élevées et de haute intensité ECREVIS et OCTOPUS, permettant d'accroître considérablement les gammes de masses et d'énergie des particules accélérées, ainsi que de produire des faisceaux intenses de neutrons secondaires rapides monocinétiques.

La moitié environ du temps de fonctionnement du cyclotron est utilisée pour des recherches en physique. Celles-ci ont porté sur l'étude des interactions entre neutrons rapides et protons ou noyaux légers, sur la structure des noyaux légers, sur les propriétés des interactions faibles dans les désintégrations radioactives, et surtout sur la structure nucléaire : désintégration des noyaux très éloignés de la stabilité nucléaire et comportement des noyaux en rotation rapide. Ces dernières années se sont également développées les études des mécanismes d'interaction induites par des ions lourds, pour lesquelles est utilisé un détecteur modulaire de neutrons développé en commun par l'UCL, l'ULB et des équipes françaises.

⁶⁰Par ailleurs, le fait que les interactions entre particules soient "fortes" distingue les méthodes de la physique nucléaire de celles des sciences qui traitent de systèmes peu liés. Enfin, le fait que le nombre de particules à l'oeuvre reste limité (de quelques unités à quelques centaines au maximum) impose de tenir compte de leur individualité, au contraire des sciences qui étudient des systèmes de particules en nombre virtuellement infini.

⁶¹G. Ryckewaert et J. Vervier, "CYCLONE, le cyclotron de l'Université Catholique de Louvain", *Physicalia Magazine* 8 n° 2, p. 97.

Grâce à l'acquisition d'un deuxième cyclotron, c'est à Louvain-la-Neuve qu'a été réalisé pour la première fois en 1989 un faisceau d'ions radioactifs (azote 13), dans le cadre d'une collaboration coordonnée par Jean Vervier et regroupant l'UCL, la KUL et l'ULB, bien avant les grands laboratoires européens (GANIL à Caen, ISOLDE au CERN), américains (Oak Ridge) et japonais qui s'en dotent aujourd'hui. Il a fallu pour cela résoudre des problèmes complexes de production et de séparation des isobares, afin d'obtenir des faisceaux suffisamment intenses et purs. Cette réalisation a permis de mesurer la section efficace de capture de protons par l'azote 13, de grande importance pour la compréhension du processus d'explosion des novae, et dont les implications ont été particulièrement étudiées par le groupe d'astrophysique nucléaire théorique de l'ULB. De nouveaux développements permettront sous peu d'étudier d'autres réactions d'importance astrophysique.

Les expériences utilisant le cyclotron sont réalisées non seulement par des équipes de l'UCL, mais aussi par des équipes d'autres universités belges ou de centres étrangers, le plus souvent en collaboration avec l'UCL. La KUL par exemple y a installé un séparateur d'isotopes en ligne permettant d'analyser la désexcitation de noyaux exotiques de très courts temps de vie. Une étroite collaboration existe également entre les expérimentateurs de l'UCL et le groupe de physique nucléaire théorique de l'ULB. Le cyclotron est également utilisé pour des programmes de recherche appliquée (étude de la résistance au rayonnement cosmique des composants spatiaux, électroniques et informatiques; production de membranes de microfiltration) ainsi qu'en médecine (production d'isotopes radioactifs utilisés notamment pour la tomographie à positons; neurothérapie et, plus récemment, protothérapie du cancer). Enfin, il faut mentionner le développement à Louvain-la-Neuve d'une entreprise d'assemblage et de commercialisation de cyclotrons, notamment selon le prototype de CYCLONE.

Autres programmes

Rappelons que l'université de Gand s'est forgé une expertise depuis les années '50 dans le domaine des accélérateurs, avec des accélérateurs linéaires d'électrons⁶². Un troisième LINAC de 15 MeV fut installé en 1984, permettant de produire des faisceaux très intenses de photons polarisés et non polarisés, et de développer un important programme d'étude de réactions de photofission, destiné à mieux comprendre le processus de la fission. Cet accélérateur est également utilisé pour la dosimétrie, l'étude de nouvelles applications dans la synthèse et le traitement de biomatériaux, et l'utilisation médicale d'irradiation par électrons et photons (entre autres le développement d'une nouvelle thérapie des tumeurs osseuses par irradiation extracorporelle).

A la KUL, le groupe de Romain Coussement s'est intégré dans une série de collaborations nationales et internationales. Citons les recherches menées dans le domaine de la spectroscopie (utilisation de lasers pour étudier la structure nucléaire hyperfine) ou encore la brillante réalisation que constitue la synthèse de l'étain 100 (50 protons et 50 neutrons), très éloigné des isotopes stables (environ 70 neutrons), et qui donne d'intéressantes informations sur la structure nucléaire (noyau "doublement magique"). Les chercheurs de la KUL sont également actifs au CERN autour du séparateur d'isotopes ISOLDE, pour l'étude des noyaux exotiques.

Il faut encore mentionner les recherches menées à Geel au Bureau Central de Mesures Nucléaires relevant de la Communauté Européenne, dirigé par Achille de Ruyter, professeur à Gand où il a succédé à Verhaege⁶³. Ce laboratoire destiné à la recherche appliquée a

⁶²W. Mondelaers, op. cit.

⁶³Ce laboratoire a été créé dans la foulée de celui du centre commun de recherche européen d'Ispra. Il semble que, tout en visant à attirer en Belgique des financements européens, la création de ce laboratoire ait aussi eu en

également fourni, en collaboration avec Saclay, des résultats importants sur le rôle, pour la vitesse de fission, des états nucléaires intermédiaires (isomères de fission).

Sur le plan des collaborations internationales, il faut mentionner le regroupement, de 1980 à 1994, des équipes de l'UIA, de la KUL, de l'ULg et du CEN auprès du réacteur à haut flux de neutrons de Saclay. D'une manière générale, il faut souligner que les groupes expérimentaux de physique nucléaire des universités belges ont noué de nombreuses collaborations avec des laboratoires étrangers, notamment Orsay et le GANIL en France, Darmstadt en Allemagne, Argonne aux Etats-Unis ou encore ISOLDE au CERN⁶⁴.

Notons enfin que, de même que les accélérateurs de l'UCL et de Gand sont utilisés pour des applications, des programmes de physique nucléaire sont développés par des physiciens qui parviennent à "parasiter" des accélérateurs à finalité médicale, par exemple les cyclotrons des hôpitaux universitaires de Gand, de Liège et de la VUB⁶⁵.

Les "moyennes énergies"

Vers le milieu des années '60, les physiciens hollandais proposèrent un effort commun au sein du Benelux pour créer une "usine à pions", mais ce projet ne connut pas plus de suite que celui de la construction d'un laboratoire national de physique nucléaire.

Pour les Belges, les recherches en physique nucléaire "de moyenne énergie" eurent donc pour cadre des laboratoires étrangers, notamment au CERN, où un groupe autour de J.-P. Stroot et P. Macq étudia notamment la diffusion de pions sur des noyaux légers. Des groupes de l'UCL, animés d'abord par P. Macq au CERN, menèrent également leurs recherches auprès de l'accélérateur linéaire de Saclay puis au laboratoire suisse de SIN (maintenant Institut Paul Scherrer), à Villigen. Les travaux de l'équipe de L. Grenacs indiquèrent l'absence de courants neutres de seconde classe, tandis que Jules Deutsch et ses collaborateurs ont réalisé des tests précis de la théorie des interactions faibles, par la mesure simultanée de tous les paramètres de désintégration du muon, et étudié les propriétés des neutrinos associés à l'électron et au muon.

b. Physique des particules élémentaires

Après la période de mise en place des années '60, les laboratoires belges se sont bien intégrés dans l'évolution de la physique des particules. Après s'être concentrés sur les expériences à cible fixe et l'utilisation de chambres à bulles, ils se sont reconvertis depuis 1985 et participent, le plus souvent ensemble, à des expériences utilisant des compteurs, menées auprès des collisionneurs.

Les années '70 - '80 : le programme d'expériences sur cibles fixes

On se rappelle que, à la fin des années '60, les groupes belges se consacraient d'une part aux études d'hypernoyaux, d'autre part à des expériences en chambres à bulles utilisant des faisceaux de hadrons.

partie pour but - à tort ou à raison - de préserver l'autonomie du centre de Mol par rapport à la Communauté européenne.

⁶⁴On pourrait encore indiquer ici la contribution belge à la construction et à l'exploitation de l'*European Synchrotron Radiation Facility* de Grenoble, entreprise européenne de grande importance pour la recherche fondamentale et appliquée dans de nombreux domaines s'étendant de l'étude des matériaux aux applications médicales. S'il ne s'agit pas ici d'une activité de physique nucléaire ou des particules, ce sont bien les progrès dans la technologie des accélérateurs qui ont rendu possibles les développements dans l'exploitation du rayonnement synchrotron.

⁶⁵voir divers articles dans *Physicalia Magazine* 8 n°2, 1986.

A l'IIHE⁶⁶, un nouveau domaine d'activité fut ouvert sous l'impulsion de J. Sacton au début des années '70, avec la participation au programme mené au PS du CERN pour l'étude des interactions de neutrinos dans la chambre à bulles géante Gargamelle remplie de fréon. Cette expérience, menée en collaboration par sept laboratoires, livra un résultat fondamental : l'observation des interactions de neutrino du type "courant neutre", et en particulier un exemple de la diffusion élastique d'un neutrino sur un électron atomique (1976 ??). Cette découverte apportait un soutien expérimental décisif à la théorie de Salam, Weinberg et Glashow d'unification des interactions électromagnétique et faible⁶⁷, qui valut à ses auteurs le prix Nobel en 1979. Cette même expérience permit également d'observer la dépendance linéaire en l'énergie de la section efficace d'interaction des neutrinos, apportant ainsi une confirmation au modèle des partons proposé par Feynman pour expliquer les résultats obtenus en 1969 à SLAC avec des interactions d'électrons sur protons⁶⁸. Dans la suite, le programme d'étude de la physique du neutrino au moyen des chambres à bulles géantes fut continué auprès de l'accélérateur SPS du CERN (400 GeV) et au Tevatron de Fermilab (800 GeV)⁶⁹.

A partir du milieu des années '80, l'IIHE et le groupe de physique des particules de Denis Favart à l'UCL ont collaboré étroitement pour l'étude des interactions de neutrinos au CERN, en utilisant des compteurs. L'une de ces expériences, CHORUS, a pour but d'observer d'éventuelles transitions entre les différents types de neutrinos actuellement connus, ce qui aurait de très importantes conséquences en physique des particules et en cosmologie. Il est amusant de noter que la composante principale du détecteur est formée d'un bloc de 200 litres d'émulsion nucléaire : retour aux origines...

Les interactions de hadrons (en particulier mésons K et antiprotons) ont été étudiées au moyen de chambres à bulles de divers types par les groupes d'Anvers, de Mons et de l'IIHE au Laboratoire National d'Argonne (Chicago), auprès de l'accélérateur de 70 GeV de Serpukhov (URSS), qui était le plus puissant au monde au début des années '70, puis auprès du SPS au CERN et au Tevatron de Fermilab. Ce programme de physique a livré d'abondantes informations sur les caractéristiques des interactions hadron-hadron, que la chromodynamique quantique se donne pour tâche d'interpréter. Ces groupes ont également pris part à plusieurs expériences portant sur les propriétés des particules comportant un quark charme ou beauté, au CERN et à Fermilab. Enfin, le groupe de Mons a participé au CERN à deux expériences d'interaction de muons sur protons et sur noyaux, qui ont donné de nombreux résultats importants, notamment le fameux "effet EMC" indiquant un comportement différents des quarks selon qu'ils appartiennent à un nucléon libre ou lié dans un noyau.

Le groupe de physiciens de l'IISN détachés au CERN a participé pour sa part à de nombreuses expériences utilisant des compteurs. Il a développé et construit un nouveau type de calorimètre électromagnétique utilisé de manière intensive dans diverses expériences

⁶⁶voir *Scientific Activity Report*, op. cit.

⁶⁷On distingue quatre types de forces "fondamentales", par ordre d'intensité croissante à petite distance : la gravitation, la force nucléaire faible (responsable de la radioactivité β), la force électromagnétique et la force nucléaire forte, décrivant les interactions entre les quarks et les gluons constituant la plupart des particules élémentaires, dont les protons et les neutrons. La théorie de Salam, Weinberg et Glashow stipule que la force faible et la force électromagnétique sont deux manifestations de la même force fondamentale électrofaible, de même que la théorie électromagnétique de Maxwell permet de décrire dans un même formalisme, comme manifestation d'une même réalité "plus profonde", les phénomènes de l'électricité et du magnétisme.

⁶⁸Ce modèle, associé à celui des quarks, est à la base de notre compréhension actuelle de la structure des hadrons.

⁶⁹Les collaborations autour des chambres à bulles, nécessitant le dépouillement de centaines de milliers de clichés, regroupant une dizaine de laboratoires et plusieurs dizaines de physiciens, ont joué un rôle important de préparation pour les très grandes collaborations installées aujourd'hui auprès des collisionneurs, et qui regroupent désormais plusieurs centaines de physiciens.

destinées en particulier à tenter de mettre en évidence la production de particules formées de gluons (et non de quarks) et, le cas échéant, à en étudier la spectroscopie.

Les années 90 et les expériences aux collisionneurs LEP et HERA

En 1982 était mis en fonction au CERN le collisionneur protons–antiprotons, qui permit d’observer les bosons W et Z^0 , médiateurs de la force électrofaible. Ce succès, qui valut au CERN son premier prix Nobel (Rubbia et Vander Meer, 1984) a montré la puissance des détecteurs “universels” permettant de reconstruire dans tous leurs détails les interactions entre particules amenées en collision frontale (et donc à l’énergie la plus élevée possible pour un accélérateur donné).

La participation à l’expérience DELPHI auprès du collisionneur électrons–positons LEP⁷⁰, entré en fonction au CERN en 1989 fut la première participation belge de grande ampleur à une expérience auprès d’un collisionneur. Les équipes des universités d’Anvers (UIA), de Mons, de l’ULB et de la VUB formèrent dès 1983 un seul groupe belge pour rejoindre cette collaboration qui, avec les trois autres expériences installées auprès du LEP, a permis d’étudier en détail les caractéristiques de production et de désintégration du boson Z^0 , ainsi que de très nombreux autres aspects de la physique des particules. Il a été déterminé que le nombre de familles de neutrinos est de trois, et des tests très précis du “modèle standard”⁷¹ ont été réalisés, qui tous sont en accord avec les prédictions. La production de nouvelles particules prédites par les théories “supersymétriques” a été recherchée activement mais en vain aux énergies disponibles jusqu’à présent.

Depuis 1987, un groupe de l’IIHE–UIA a rejoint l’expérience H1, menée auprès de l’autre collisionneur existant en Europe, le collisionneur électrons–protons HERA à DESY (Hambourg), à ce jour la seule machine de ce type à avoir été construite. Cette expérience a pour buts d’étudier de manière précise la répartition des quarks et des gluons dans le proton à très haute énergie⁷², ainsi que de tester et d’approfondir notre compréhension de la théorie chromodynamique quantique. En effet, celle-ci est extrêmement complexe, et l’appui de l’expérience est indispensable pour orienter les développements théoriques eux-mêmes. Un groupe de l’université de Gand mené par R. Van de Vyver a rejoint récemment l’expérience HERMES menée également auprès du collisionneur HERA, dans le but de mesurer la distribution du moment cinétique (spin) dans le proton. Enfin, les expériences à HERA, comme celles menées au LEP, s’attachent très activement à la recherche de nouvelles particules ou de nouveaux comportements de la matière, non décrits par le Modèle Standard, et qui seraient le signe d’une “nouvelle physique”, peut-être liée à une nouvelle unification des forces fondamentales de la nature (leptoquarks, particules supersymétriques, etc.).

Quant aux perspectives d’avenir de la physique des particules, elles sont tracées dans leurs grandes lignes, sauf surprise, pour les 20 ou même 30 ans à venir. Vers 2005, le tunnel du LEP et ses installations seront équipés de manière à y faire fonctionner un collisionneur protons–protons d’énergie de 7 TeV x 7 TeV, le LHC (*Large Hadron Collider*). L’objectif immédiat est de scruter la production de particules “de Higgs”, pièce manquante du “modèle

⁷⁰L’énergie initiale des faisceaux, 50 GeV x 50 GeV, située au-dessus du seuil de production de bosons Z^0 (92 GeV) a été portée en 1996 au-dessus du seuil de production de paires W^+W^- (LEP 200).

⁷¹Le “modèle standard” rassemble dans un même formalisme la théorie électrofaible et la chromodynamique quantique, décrivant les interactions fortes. Jusqu’à présent, ce modèle n’a pas pu être pris en défaut, mais le grand nombre de paramètres libres et des propriétés de symétrie évidentes mais non expliquées font croire qu’il est incomplet. Les théories “supersymétriques” sont l’un des candidats pour expliquer les propriétés plus profondes de la matière.

⁷²D’après la mécanique quantique, la répartition des quarks et des gluons qui constituent le proton n’est pas fixe, mais dépend de l’énergie disponible dans l’interaction qui permet de l’étudier.

standard". L'espoir est aussi de réaliser de nouvelles découvertes, par essence imprédictibles, permettant d'aller au-delà de ce "modèle standard". Les excellents résultats fournis par la collaboration interuniversitaire belge ont incité les laboratoires de l'IIHE, de Mons, de l'UCL et de l'UIA à se regrouper pour rejoindre la collaboration CMS, qui prépare l'un des deux détecteurs principaux qui seront installés au LHC. Cette équipe est actuellement engagée dans les tâches de recherche et développement de détecteurs.

Ce qui précède indique la profondeur de la mutation qui a atteint la physique des particules depuis quinze ans. Des laboratoires de taille moyenne comme ceux de l'IIHE (une petite trentaine de physiciens de l'ULB, la VUB et l'UIA) et de Mons (une dizaine de physiciens) pouvaient contribuer simultanément à toute une série d'expériences, dont chacune durait quelques années. Désormais, les moyens sont concentrés sur quelques expériences, demandant de l'ordre de 10 ans de préparation et de 10 à 15 ans pour la prise de données et l'analyse. Cette situation nouvelle implique évidemment de grands changements tant dans le vécu des chercheurs que dans la formation des doctorants.

La Belgique et le CERN

On a vu ci-dessus le rôle central joué par le CERN dans le développement de la physique expérimentale des hautes énergies en Belgique, et la contribution des groupes belges à plusieurs des expériences les plus significatives menées au CERN. Il importe de souligner également le rôle joué par le CERN pour le développement de la physique théorique : par son exemple et par le flux incessant de boursiers et de chercheurs en provenance de toutes les universités, il a joué un rôle incomparable de soutien à la qualité et à l'ouverture internationale de la physique théorique en Belgique.

On a également indiqué plus haut le rôle éminent joué par plusieurs Belges appartenant au personnel du CERN, dès la fondation de celui-ci. Il faut y ajouter le brillant théoricien Léon Van Hove (1924-1990), licencié en mathématiques de l'ULB en 1945 et assistant de J. Géhéniau avant de séjourner un an à Princeton puis d'être engagé comme professeur à l'université d'Utrecht en 1954. De 1960 à 1968, Van Hove fut directeur de la division Théorie du CERN puis devint, avec John Adams, codirecteur du CERN de 1976 à 1981, en tant que Directeur Général de la Recherche. C'est à ce moment que fut prise la décision, cruciale pour l'avenir, de transformer le SPS en un collisionneur protons-antiprotons, de construire dans ce but la première source intense d'antiprotons dans le monde, et de lancer le projet du LEP. Les contributions théoriques de Van Hove portent sur de nombreux domaines : mécanique statistique, théorie quantique des champs, physique nucléaire, physique des hautes énergies, en particulier distributions de multiplicité des particules dans les états hadroniques finals et plasma de quarks et de gluons.

Sur le plan de la gestion, c'est J. Willems qui représenta le gouvernement belge au Conseil du CERN à partir de 1954; il présida le Comité des Finances jusqu'en 1957, avant de devenir Vice-Président du Conseil de 1957 à 1960, et Président en 1961. Il fut ensuite remplacé par Paul Levaux. Sa longue pratique et sa parfaite connaissance du CERN ont valu à Levaux une influence considérable, qui s'est traduite par la fonction de président du Comité des Finances de 1971 à 1973, ainsi que par sa présidence du Conseil de 1975 à 1977. Actuellement, P. Levaux est vice-président du Conseil. Pour sa part, J. Lemonne est membre du Conseil du CERN depuis 1972. Il faut aussi mentionner le rôle important joué par J. Sacton, qui fut président de l'influent Comité Européen pour les Futurs Accélérateurs (ECFA)⁷³ de 1984 à 1987, et à ce titre participa notamment aux réunions des organes

⁷³Comité officieux qui réalise des études sur les développements futurs de la physique des particules et joue un rôle de conseiller auprès des institutions de recherche européennes (CERN, DESY, etc.), ainsi qu'auprès des

directeurs du CERN et de DESY, et fut président de la commission “*Particles and Fields*” de l’IUPAP de 1994 à 1996.

Enfin, il est amusant de savoir que, à la fin des années ’60, quand le CERN se pencha sur le projet de construction d’un accélérateur plus puissant (qui allait être le *SPS*), il fut envisagé très sérieusement de ne pas l’installer sur le site de Genève. Parmi les possibilités retenues figurait ... un site belge, à Focant, près de Wépion, qui resta très longtemps dans la course, et ne fut écarté au profit de Genève qu’en toute dernière instance. Si on ne peut que regretter ce choix d’un point de vue belge, il est clair que cette solution moins coûteuse a permis d’utiliser efficacement le PS comme injecteur du SPS depuis de très nombreuses années.

c. Physique théorique et physique mathématique

Cette ultime section de notre revue sera d’autant plus courte que le champ à couvrir est vaste. En effet, chacune de nos universités comporte des enseignements de physique théorique et des activités de recherche théorique en physique nucléaire ou en physique des particules. D’ailleurs, fait singulier, la Belgique connaît depuis longtemps un nombre plus important de théoriciens que d’expérimentateurs, symptôme (parmi d’autres) d’un soutien plus faible à la recherche expérimentale dans notre pays que chez nos voisins⁷⁴.

Les sujets couverts par les chercheurs belges au cours de la longue période évoquée dans cet article sont évidemment extrêmement variés, bien plus encore que les domaines expérimentaux soumis à des contraintes matérielles lourdes. Les domaines d’énergie abordés s’étendent de l’eV pour la physique atomique et moléculaire aux énergies colossales de l’ordre de la masse de Planck (10^{19} GeV) correspondant aux conditions de l’Univers dans les premières fractions de seconde (supergravité, supercordes), en passant par le domaine des forces nucléaires (le MeV), du confinement des quarks et gluons dans les hadrons (le GeV), de l’unification électrofaible (100 GeV), de la supersymétrie et de l’unification des forces électrofaible et forte (probablement dans le domaine du TeV).

On retrouve aussi sans surprise parmi les théoriciens belges des approches très différentes, parfois se succédant ou se superposant chez la même personne : recherche d’une description “effective” des résultats expérimentaux, même sur des bases théoriques minimales; étude phénoménologique des modèles (théorie électrofaible, chromodynamique quantique, supersymétrie); ou encore explorations axiomatiques rigoureuses.

Tenter de décrire l’ensemble des travaux des théoriciens belges reviendrait donc pratiquement à tenter un exposé général des développements théoriques, fructueux ou non, qui se sont succédé depuis quelques dizaines d’années. On n’essaiera pas ici d’entreprendre cette tâche immense⁷⁵. Il faut cependant citer, en plus des brèves évocations qui ont été faites dans le texte des théoriciens belges les plus remarquables, les Lemaître, De Donder, Rosenfeld, Géhéniau, Van Hove, les travaux de premier plan réalisés par Robert Brout et François

communautés nationales de physique des hautes énergies.

⁷⁴Il est rapporté dans *History of CERN* (op. cit., t. 2, p. 408) que la Belgique comptait en 1966 7 physiciens seniors travaillant avec des chambres à bulles pour 14 théoriciens (les nombres correspondants en Hollande étaient de 20 et 27). En 1985, la proportion d’expérimentateurs par rapport au nombre de théoriciens est de 0,9 en Belgique et 1,8 pour l’ensemble des pays européens (cité in J. Sacton, “L’Institut Interuniversitaire des Hautes Energies (ULB-VUB) et ses rapports avec le CERN”, *Nouvelles de la Science et des Techniques* 3 n° 2, 1985, p. 52).

⁷⁵On trouvera des développements substantiels dans l’article de J. Géhéniau et J. Serpe, “Esquisse de la contribution belge à la mécanique quantique, à ses prolongements et à des sujets connexes”, in *Florilège des Sciences*, op. cit., t. 2, p. 85 sq.

Englert à l'ULB dans de nombreux domaines, de la cosmologie aux supercordes, et surtout leur contribution à la découverte du rôle des brisures spontanées de symétrie dans l'attribution d'une masse aux bosons vecteurs des théories de jauge non-abéliennes (pour le modèle standard, les bosons W et Z). Ce mécanisme⁷⁶ constitue une pièce cruciale du "modèle standard" sous sa forme actuelle; l'observation des particules dont il implique l'existence est la principale justification de la mise en service du collisionneur LHC au CERN dans la décennie qui vient.

Le dynamisme des équipes universitaires s'est illustré aussi bien en physique nucléaire qu'en physique des particules. A l'université de Louvain, de très nombreuses contributions ont été apportées, en particulier en physique des particules, par les successeurs de Lemaître, Manneback et Bouckaert, Frans Cerulus à la KUL et David Speiser à l'UCL, et par leurs nombreux élèves. A l'ULB, on a mentionné les recherches nombreuses et actives en physique des particules et en physique mathématique, ainsi que les apports du groupe créé par Marcel Demeur en physique nucléaire, principalement dans le domaine des basses énergies. A Liège, la tradition de recherche en physique théorique inaugurée par L. Rosenfeld, J. Serpe et Jean Humblet a été poursuivie en physique nucléaire et en physique des particules, notamment avec les travaux de physique nucléaire du groupe de Claude Mahaux, qui portent en particulier sur les énergies intermédiaires et le problème à plusieurs corps. A Gand, le groupe de Kris Heyde s'est intéressé particulièrement à des questions de structure nucléaire, mettant l'accent sur les symétries du noyau; plus récemment, l'intérêt s'est porté sur les propriétés de systèmes plus généraux à plusieurs corps et sur l'étude des interactions électromagnétiques. Enfin, des développements importants en physique nucléaire et en physique des particules sont encore le fait de théoriciens de la VUB avec Jean Reignier, de Mons avec René Ceuleneer et d'Anvers avec Frans Arickx et Piet Van Leuven.

Avec l'évolution de la recherche, le travail en physique théorique est de moins en moins une oeuvre individuelle. Il importe de souligner que la plupart des groupes belges sont activement engagés dans des collaborations internationales, et ont dans de nombreux cas noué également des liens étroits avec des groupes expérimentaux, nationaux ou internationaux.

CONCLUSIONS

On a tenté d'associer dans cette rétrospective l'évolution de la physique nucléaire et de la physique des particules en Belgique depuis un demi-siècle. Ces deux sciences, nées l'une de l'autre, ont des bases conceptuelles proches, et une partie des méthodes expérimentales leur est restée commune. Elles ont cependant connu des évolutions fort différentes, et se sont séparées tant sur le plan des domaines de la recherche que de son organisation et des institutions.

La physique des particules a connu une évolution extrêmement rapide. Ayant mis à jour un monde de particules subnucléaires, elle l'a expliqué par l'existence de constituants plus "élémentaires" de la matière, les quarks. Elle a découvert aussi les particules responsables des interactions électromagnétiques (le photon), faibles (les bosons W et Z) et fortes (les gluons), et est parvenue à englober ces trois forces fondamentales de la nature dans une même description, le "modèle standard". Ces progrès ont été possibles grâce à la construction d'accélérateurs de plus en plus puissants et de détecteurs de plus en plus complexes,

⁷⁶Il porte communément le nom du physicien britannique Higgs, qui l'a suggéré indépendamment de Brout et Englert.

impliquant la collaboration de centaines de physiciens et d'ingénieurs pour de nombreuses années.

On a vu quels facteurs ont permis à la Belgique de se hisser à un rang honorable dans ce domaine extrêmement compétitif. D'abord, la détermination de responsables clairvoyants comme Willems, en accord avec la politique pro-européenne du gouvernement, a contribué de manière significative à la création du CERN et au développement du programme ambitieux qui lui a permis de conquérir une première place incontestée au plan mondial. Le développement du CERN a joué un rôle extrêmement bénéfique pour les groupes belges, comme pour ceux de tous les États membres.

Il faut ensuite souligner, au début du développement de la physique des particules en Belgique, l'intelligence de la politique suivie par l'IISN et les universités, caractérisée par son volontarisme, son ouverture et son réalisme : choix d'une stratégie qui propulse les laboratoires dans une recherche de pointe, par la participation à des expériences menées auprès des meilleurs accélérateurs étrangers en évitant le piétinement dans des tâches techniques insurmontables (construction d'un accélérateur en Belgique); politique résolue d'envoi à l'étranger de jeunes chercheurs et confiance dans ceux-ci pour animer et diriger les laboratoires à leur retour (même si certains restèrent à l'étranger...); encouragement à la collaboration internationale avec les meilleures équipes (notamment grâce aux contacts noués pendant les stages); encouragement à la collaboration interuniversitaire, mais sans exiger pour autant la fusion des équipes dans le moule d'un seul laboratoire centralisé.

Au cours de leur développement ultérieur, les laboratoires belges ont dû leurs succès à trois facteurs : leur capacité à se reconverter afin de rester dans le groupe de tête (de l'émulsion nucléaire aux chambre à bulles puis aux détecteurs électroniques "universels"); le succès de leur politique de collaboration, présente dès le début en émulsion nucléaire et en chambres à bulles, et particulièrement importante dans la dernière période (LEP, HERA, LHC); l'importance des liens entre les laboratoires de recherche et l'enseignement universitaire, source de recrutement et facteur de dynamisme.

En ce qui concerne la physique nucléaire, son développement s'est réalisé sur une base plus dispersée que pour la physique des particules. On peut peut-être regretter l'absence d'un grand laboratoire national, mais les équipes universitaires ont su créer entre elles des collaborations et des complémentarités, notamment entre groupes expérimentaux et groupes théoriques; elles se sont également intégrées dans des collaborations internationales. Enfin, il faut souligner la manière efficace avec laquelle les départements de physique nucléaire ont su trouver des formes de collaboration avec d'autres départements de physique (matériaux, surfaces, etc.), de chimie, de biologie et de médecine, qu'il s'agisse de l'utilisation pour la recherche appliquée ou la médecine d'une partie du matériel de la recherche nucléaire, ou au contraire de l'utilisation pour la recherche nucléaire d'équipements acquis pour d'autres applications.

Si le bilan est donc positif, il convient cependant de ne pas se cacher les insuffisances. Par rapport à d'autres pays de taille similaire (Pays-Bas, Suisse), la recherche expérimentale en Belgique est relativement pauvre. Malgré les efforts réalisés, l'équipement disponible n'est pas vraiment à la hauteur des besoins, et surtout le recrutement de jeunes chercheurs est insuffisant, ce qui se traduit par un vieillissement des cadres. Il est impératif que notre recherche fondamentale continue à bénéficier d'un soutien suffisant, et même sensiblement accru. Dans le domaine de la physique nucléaire et de la physique des particules en particulier, elle irrigue en effet le développement scientifique et technique général par ses nombreuses retombées technologiques (électronique ultrarapide, supraconductivité, supervide, résistance des matériaux aux irradiations, réseaux d'ordinateurs, télécommunications, etc.). Mais surtout

elle forme la base d'un enseignement de haut niveau et reste le moteur du recrutement des meilleurs étudiants dans les matières scientifiques.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très vivement les nombreuses personnes qui ont bien voulu m'aider dans cette recherche : Mmes. et Mrs. F. Binon, F. Cerulus, M. Demeur, J. Deutsch, D. Devriese, F. Grard, P.-H. Heenen, K. Heyde, J. Humblet, J. Lemonne, P. Leviaux, P. Macq, W. Mondelaers, M. Neveu-René, J. Plaineveau, J. Sacton, C. Vandervelde, R. Van Praag, F. Verbeure, J. Vervier, G. Wallenborn, ainsi que le Service des Archives de l'ULB. Il va de soi que je suis seul responsables de toutes les omissions et erreurs qui peuvent encore émailler ce texte, dont je mesure par ailleurs toutes les insuffisances.