

théorie ondulatoire que Tomonaga applique aussitôt pour concevoir des guides d'ondes de radar.

Durant cette période, Tomonaga s'attaque à l'augmentation infinie de l'énergie des particules, problème auquel Yukawa s'était déjà frotté et qu'il avait abandonné. Pour ce faire, il met au point une façon de décrire le comportement de diverses particules quantiques en interaction, tels les électrons, quand elles se déplacent à une vitesse proche de celle de la lumière. Généralisant une idée de Dirac, il définit, pour chaque particule, outre les coordonnées d'espace, une coordonnée de temps propre. Ce travail, qui allait devenir un cadre théorique puissant pour l'électrodynamique quantique, est publié en 1943, dans le journal de l'Institut Riken.

En 1943, la plupart des étudiants ont été mobilisés. L'un d'entre nous (Yochiro Nambu) fait partie des soldats affectés dans une unité de recherche de l'armée sur les radars. Une formidable guerre des services oppose l'armée de terre et la marine, lesquelles mènent séparément leurs recherches et refont souvent le travail de l'autre. Les moyens sont très limités et les techniques primitives : l'armée ne réussit pas à mettre au point des radars mobiles pour suivre les cibles ennemies. Les autorités donnent à Y. Nambu un petit morceau (huit centimètres sur huit) de Permalloy, un alliage de fer et de nickel d'une très grande perméabilité magnétique, et lui demandent de faire ce qu'il peut pour améliorer la détection des sous-marins. On lui demande aussi de dérober à la marine l'article de Tomonaga sur les guides d'ondes, classé secret défense, ce qu'il fait en rendant visite à un professeur qui ne se méfie pas.

Les physiciens les plus jeunes, dans la région de Tokyo, poursuivent leurs études tant bien que mal. Les professeurs de l'Université de Tokyo, ainsi que Tomonaga, leur font des cours le dimanche. En 1944, quelques étudiants sont libérés des recherches militaires qu'ils étaient contraints de faire et reviennent à l'Université. Toutefois les difficultés persistent : plusieurs bâtiments où logent les étudiants ont été incendiés. Tomonaga, de santé fragile, donne parfois ses cours de son lit.

Pendant ce temps, Nishina est chargé, par les militaires, de travailler sur la bombe atomique. En 1943, il conclut ses recherches préliminaires en disant qu'on peut faire une bombe atomique à condition d'avoir assez de temps et assez d'argent. Il charge un jeune physicien spécialiste des rayons cosmiques, Masa Takeuchi, de construire un dispositif pour



Nishina Memorial, Hiroshi Ezawa

NIELS BOHR (à droite) est en grande discussion avec Nishina et Seishi Kikuchi (debout), lors de son voyage au Japon, en avril 1937. Au début des années 1920, Nishina avait rendu visite à Bohr, à Copenhague et, depuis, il était resté en contact avec plusieurs physiciens européens.

isoler l'uranium léger nécessaire à la fabrication d'une bombe. Taketani, à nouveau emprisonné, est également contraint de travailler sur ce projet, mais il est convaincu qu'il n'a aucune chance d'aboutir.

De l'autre côté du Pacifique, quelque 150 000 hommes et femmes participaient au projet Manhattan, parmi eux plusieurs génies qui disposaient de plus de deux milliards de dollars. Le contraste est fort : quand les étudiants japonais comprennent qu'il leur faut du sucre pour faire de l'hexafluorure d'uranium (dont ils pourraient extraire l'uranium), ils le prélèvent dans leurs maigres rations alimentaires. Quand les deux bombes américaines éclatent sur Hiroshima et sur Nagasaki, les Japonais n'ont réussi à produire qu'un morceau d'uranium de la taille d'un timbre poste et qui n'est même pas enrichi.

LA RECONSTRUCTION

Après la reddition des Japonais, en août 1945, le pays est occupé par les Américains pendant plusieurs années. L'administration du général Douglas MacArthur réforme et libéralise le système universitaire et crée de nouvelles universités. Toutefois, la recherche expérimentale dans le

domaine de l'énergie nucléaire est interdite. Tous les cyclotrons sont démantelés et jetés à la mer, de peur qu'ils ne servent aux recherches sur la bombe atomique. L'économie du pays n'offre pas les ressources nécessaires à la recherche expérimentale. Tomonaga vit avec sa famille dans un laboratoire dont la moitié a été bombardée. Y. Nambu arrive à l'Université de Tokyo comme assistant et vit pendant trois ans dans un laboratoire, dormant sur une natte de paille posée sur son bureau (et toujours vêtu d'habits militaires, faute d'autres vêtements). Beaucoup d'autres bureaux sont occupés par des universitaires et par leur famille.

La préoccupation de chacun est de trouver de la nourriture. Y. Nambu trouve parfois des sardines sur le marché aux poissons de Tokyo, mais l'odeur, faute de réfrigérateur, devient rapidement insupportable. Le dimanche, il part à la campagne, quémandant de la nourriture aux fermiers.

D'autres physiciens habitent dans le même bâtiment. Ziro Koba travaille, avec le groupe de Tomonaga, sur le problème de l'énergie propre infinie. Certains se spécialisent dans l'étude des solides et des liquides, aujourd'hui nommée la physique de la matière condensée, sous la



Shunkichi Kikuchi

TOMONAGA, en 1960, cinq ans avant de recevoir le prix Nobel pour avoir résolu, pendant la Seconde Guerre mondiale, le problème des quantités infinies dans l'électrodynamique quantique.

coupe de Kotani et de son assistant Ryogo Kubo, dont les théorèmes de mécanique statistique deviendront célèbres. En 1946, Sakata propose une solution au problème de l'énergie propre infinie de l'électron en contrebalançant la force électromagnétique par une force inconnue, qui disparaît à la fin des calculs. À la même époque, Abraham Pais, à l'Université de Princeton, propose la même solution. La méthode n'est pas parfaite, mais elle permet au groupe de Tomonaga de manipuler des quantités infinies (elle est connue aujourd'hui sous le nom de renormalisation).

En septembre 1947, Tomonaga lit dans la revue *Newsweek* un résultat étonnant obtenu par Willis Lamb et Robert Retherford, de l'Université de Columbia. Dans un atome d'hydrogène, les électrons occupent l'un des états quantiques possibles ; deux de ces états, dont on pensait qu'ils avaient la même énergie ont, en fait, des énergies légèrement différentes. Juste après ce résultat, Hans Bethe, de l'Université Cornell, fait un calcul rapide et non relativiste de cet effet, lequel est une modification finie de l'énergie propre infinie d'un électron à l'intérieur d'un atome. Avec ses étudiants, Tomonaga obtient bientôt un calcul relativiste de cet effet.

Ce travail ressemble beaucoup à celui que Julian Schwinger, de l'Université de

Harvard, fait quasiment en même temps. Tomonaga et Schwinger partageront, en 1965, le prix Nobel avec Richard Feynman pour le développement de l'électrodynamique quantique (Feynman utilisa une méthode différente, mais Freeman Dyson montrera ultérieurement que la méthode de Feynman est équivalente à celle de Tomonaga et de Schwinger).

À la même époque, un groupe anglais découvre la désintégration d'un pion en un muon dans des plaques photographiques exposées aux rayons cosmiques, à haute altitude. Ce résultat confirmait l'hypothèse de Inoue, de Sakata et d'Yukawa. Ainsi Yukawa avait découvert que les forces sont transmises par des particules dont le spin est toujours un nombre entier, et dont la portée est déterminée par la masse. Il recevra le prix Nobel en 1949.

En 1947, de nouvelles particules sont découvertes, mais leur comportement étonnant leur vaut le qualificatif d'étranges. Bien qu'elles soient rares, elles apparaissent souvent par paires et leur durée de vie est anormalement longue. Dans les années qui suivent, Sakata et ses collègues élaborent un cadre mathématique pour une théorie des particules et des forces, dont le Modèle standard sera l'aboutissement.

Simultanément, les physiciens japonais renouent des liens avec les Américains, mais les sentiments sont ambigus.

Les bombes qui ont détruit Hiroshima et Nagasaki ont épouvanté tous les Japonais ; d'un autre côté, l'occupation américaine avec son programme de libéralisation a des conséquences positives. Le principal facteur de réconciliation est sans doute la fascination commune pour la physique.

LA RÉCONCILIATION

En 1948, Bethe reçoit un article de Tomonaga, qui expose l'idée maîtresse de la théorie de Schwinger. Contre vents et marées, malgré les troubles de la guerre, Tomonaga avait maintenu au Japon, une école de physique théorique qui, par certains aspects, était en avance sur tout ce qui se faisait dans le reste du monde. Tomonaga avait établi les fondements de l'électrodynamique quantique, cinq ans avant Schwinger et sans l'aide des expériences réalisées à l'Université de Columbia.

Au début des années 1950, des physiciens plus jeunes commencent à venir aux États-Unis. Certains, tel Y. Nambu, y restent. Atténuant un peu les conséquences de cette fuite de cerveaux, les expatriés maintiennent des relations épistolaires avec leurs collègues restés au Japon.

En 1959, Leo Esaki, à l'Université de Tokyo, présente une thèse sur le comportement quantique des semi-conducteurs, travail qui aboutit à la mise au point des transistors. En 1973, il rapportera au Japon un troisième prix Nobel de physique qu'il partagera avec Ivar Giaever et Brian Josephson.

Pourquoi les années les plus noires du xx^e siècle pour le Japon furent-elles aussi les plus créatives pour ses physiciens théoriciens ? Peut-être les esprits troublés cherchaient-ils à échapper aux horreurs de la guerre en se réfugiant dans la théorie ? Peut-être la guerre a-t-elle renforcé une isolation dont le fruit fut l'originalité ? Les physiciens, enfin libérés des allégeances traditionnelles vis-à-vis de leurs professeurs, ont-ils enfin exprimé leurs propres idées ? Ou peut-être, n'y a-t-il aucune explication à cette période si extraordinaire ?

Laurie BROWN est professeur émérite de physique à l'Université Northwestern. Yoichiro NAMBU est professeur émérite à l'Université de Chicago.

H. YUKAWA, *Autobiographie*, collection Un savant, une époque, éditions Belin, 1984.

***Proceedings of the Japan-USA Collaborative Workshops on the History of Particle Theory in Japan, 1935-1960*, sous la direction de L. Brown et al., Université de Kyoto, mai 1988.**