Les années « Synchro » (1958-1966)

René Bimbot

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/histoire-cnrs/2256>
DOI : 10.4000/histoire-cnrs.2256
ISSN : 1955-2408

Éditeur

CNRS Éditions

Édition imprimée

Date de publication : 3 juillet 2007
ISBN : 978-2-271-06558-2
ISSN : 1298-9800

Référence électronique

René Bimbot, « Les années « Synchro » (1958-1966) », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 17 | 2007, mis en ligne le 03 juillet 2009, consulté le 20 mai 2021. URL : <http://journals.openedition.org/histoire-cnrs/2256> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.2256>

Ce document a été généré automatiquement le 20 mai 2021.

Comité pour l'histoire du CNRS

Les années « Synchro » (1958-1966)

René Bimbot

Du Laboratoire Joliot-Curie à l'Institut de physique nucléaire

- 1 Dès la fin de l'année 1958, en hommage à ses fondateurs prématurément disparus [1], le Laboratoire de physique nucléaire d'Orsay, dont Jean Teillac assure désormais la direction, prend le nom de Laboratoire Joliot-Curie. Il reste partie intégrante de l'Institut du Radium de l'université de Paris. Sa structure est assez informelle. En ce qui concerne la recherche, l'unité de base est le groupe, ou l'équipe, placé(e) sous la responsabilité d'un chercheur ou enseignant de rang A¹. Les chercheurs sont puissamment assistés par des ingénieurs et techniciens, dont la plupart travaillent auprès des accélérateurs, en fonctionnement ou en construction², ou dans de grands services techniques (*Études et constructions mécaniques, Électronique physique, Électronique pour accélérateurs, Basses températures*). Groupes et équipes se rencontrent autour de centres d'intérêt commun, qui coïncident souvent avec les gros moyens techniques (accélérateurs de basse énergie, séparateur d'isotopes, synchrocyclotron...). On remarque ici qu'il n'existe aucun organisme d'arbitrage ni de validation des expériences proposées. La responsabilité de celles-ci est entièrement entre les mains des membres de l'équipe. Ce mode de fonctionnement reflète à la fois un certain état d'esprit hérité de la tradition de l'Institut du Radium et du Collège de France – confiance dans la hiérarchie de la recherche –, et une certaine aisance dans les moyens disponibles – absence de conflits ne pouvant être résolus « à l'amiable ».
- 2 Un autre trait caractérise la période considérée, c'est la croissance des effectifs du centre d'Orsay, qui vont pratiquement doubler, passant d'environ 250 personnes en 1958 à plus de 450 en 1966. Ces chiffres s'entendent toutes catégories de personnel confondues. En 1966, cet effectif représente environ 120 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents³, une quarantaine d'ingénieurs ainsi qu'un nombre significatif de visiteurs étrangers et d'étudiants préparant une thèse de troisième cycle. Cette croissance exceptionnelle est due à la conjonction de deux facteurs : l'effort considérable consenti en faveur de la recherche par les gouvernements de l'époque, sous l'impulsion du Président de Gaulle, et la montée en puissance de la faculté des sciences d'Orsay, créée en même temps que le Laboratoire de physique nucléaire. C'est

ainsi qu'en 1966, une cinquantaine d'enseignants figurent parmi les 120 chercheurs permanents de ce laboratoire.

- 3 Le 22 janvier 1966 est créé l'Institut de physique nucléaire commun aux facultés des sciences de Paris et d'Orsay. Il regroupe le centre d'Orsay et la section de physique et chimie de l'Institut du Radium, dont les laboratoires sont situés à Paris (rue Pierre et Marie Curie) et à Arcueil⁴. Dès sa création, l'Institut est structuré en trois divisions scientifiques, les divisions de physique théorique, de physique nucléaire et de radiochimie, dirigées respectivement par Maurice Jean, Jean Teillac et Georges Bouissières.

La recherche auprès du Synchro

- 4 À la fin des années 1950, les champs d'investigation de la physique nucléaire sont classés en trois grands domaines, selon l'énergie des projectiles utilisés, qui sont le plus souvent des protons ou des deutons. Il s'agit des basses, des moyennes et des hautes énergies (voir encadré page 45). Les chercheurs du Laboratoire d'Orsay sont concernés par ces trois grands domaines et vont les développer en parallèle [2]. Cependant, avec le synchrocyclotron [3], un effort prédominant sera porté sur la physique des moyennes énergies. C'est cette recherche qui est décrite dans ce qui suit.

Méthodes expérimentales et instrumentation

- 5 Deux grandes catégories de méthodes sont mises en œuvre auprès du nouvel accélérateur⁵ : les techniques d'observation des résidus des noyaux cibles après irradiation en faisceau interne, et les mesures des caractéristiques des particules émises, effectuées sur le faisceau extrait. Les premières débutent dès juin 1958, et les secondes en avril 1959⁶. Trente physiciens et chimistes sont alors engagés dans les expériences menées sur le Synchro.
- 6 Après avoir exposé leur cible au faisceau de protons, les « irradiateurs » pratiquent généralement une séparation chimique plus ou moins poussée, destinée à isoler un certain élément du tableau de Mendeleïev. Ensuite, selon les cas, ils isolent un isotope donné de cet élément grâce à une séparation isotopique, ou procèdent directement à la phase de mesure de radioactivité.
- 7 Pour effectuer leurs séparations chimiques sur des cibles radioactives, les chercheurs d'Orsay ne disposent tout d'abord que d'une salle proche du synchrocyclotron. Cette salle est équipée de hottes aspirantes, de boîtes à gants et de protections de plomb assez rudimentaires. En 1959, un bâtiment, dit de « chimie chaude », est construit spécialement à cet effet. Il comporte un sas d'entrée/sortie avec contrôleur de radioactivité, et plusieurs salles de chimie, toutes équipées de hottes aspirantes avec protections de plomb – elles-mêmes dotées de hublots de verre au plomb –, et dont certaines sont munies de boîtes à gants avec ou sans télémanipulateurs.
- 8 La séparation d'isotopes, pour sa part, est généralement utilisée par les spectroscopistes, dont l'objectif est de recenser les rayonnements (alpha, bêta, gamma) émis par un noyau – donc un isotope – bien défini, et de mesurer précisément leur énergie, afin d'étudier sa structure⁷. Un séparateur électromagnétique a été spécialement construit dans ce but par l'industrie et livré dès décembre 1957. Il fonctionne depuis février 1958. Il est capable d'isoler tout corps de masse inférieure à 150 et de séparer en 24 heures plus de 100 milligrammes d'un isotope de masse voisine de 100. Cependant, afin de rendre l'appareil suffisamment performant pour s'attaquer aux éléments lourds (de masse proche de 200), un second étage lui a été adjoint en 1959.

- 9 De leur côté, les chercheurs qui s'intéressent au mécanisme d'une réaction nucléaire donnée s'attachent le plus souvent à l'observation d'un isotope produit par cette réaction, dont on connaît déjà les rayonnements émis. Les mesures de radioactivité sont alors utilisées pour déterminer le nombre de noyaux produits pendant l'irradiation, et accéder ainsi, connaissant le nombre de protons qui ont frappé la cible⁸, à la probabilité⁹ de la réaction considérée. Des détecteurs variés sont déjà utilisés à cet effet dès 1958, et cet arsenal ne fera que s'enrichir au cours des années¹⁰.
- 10 Les premiers mois de faisceau extrait sont consacrés à l'étude des meilleures conditions de focalisation de ce faisceau¹¹ et à la détermination précise de ses caractéristiques physiques, dont les principales sont l'intensité (mesurée via la charge recueillie dans un cylindre de Faraday), l'énergie, la dispersion en énergie, les dimensions spatiales (évaluées d'après la tache observée sur une plaque photographique) et la dispersion angulaire. Les expériences proprement dites consistent à identifier les particules issues des collisions proton-cible – y compris les protons eux-mêmes –, et à mesurer leurs caractéristiques (angle d'émission, énergie cinétique...).
- 11 Dans un premier temps, les chercheurs disposent pour cela de détecteurs gazeux (chambres d'ionisation, compteurs proportionnels), et de scintillateurs organiques ou minéraux associés à des photomultiplicateurs. Tout comme ceux qui sont utilisés pour les mesures de radioactivité, ces détecteurs vont évoluer rapidement. Ils fournissent aussi des signaux électriques qu'il est nécessaire de traiter grâce à des systèmes électroniques spécifiques. La présence de rayonnements intenses dans la salle du faisceau en interdisant l'accès aux physiciens lorsque la machine fonctionne, les signaux électriques sont envoyés dans une « salle de physique » où se trouve également le pupitre de commande du Synchro. Entre 1958 et 1966, l'électronique accomplira des progrès considérables, et, avec l'aide de l'informatique en plein développement, la puissance des expérimentateurs en matière d'acquisition de données sera décuplée.
- 12 Enfin, pour accéder à une résolution maximale dans la détermination de l'énergie des particules émises au cours des réactions étudiées, un grand analyseur magnétique est installé dans la salle du faisceau entre août 1960 et le début de l'année 1961. Il s'agit réellement d'un gros équipement, puisque cet aimant, qui crée un champ magnétique de 1,8 tesla, ne pèse pas moins de 200 tonnes, et est solidaire d'une chambre à réaction de 2 m de diamètre, autour de laquelle il peut se déplacer sur un cercle de 13,6 m de diamètre. Après plus de six mois de mise au point, cet analyseur entre en fonctionnement fin 1961. Bien entendu, des détecteurs de toutes sortes peuvent équiper son plan focal, ce qui permet d'achever l'identification des particules sélectionnées par le champ magnétique et de les compter.
- 13 Les principaux résultats
- 14 Malgré l'existence de quelques machines d'énergie équivalente dans d'autres pays, notamment à Uppsala (Suède), à Harwell (GB) ainsi qu'à Berkeley et à Harvard (USA), les caractéristiques du synchrocyclotron et son équipement expérimental en font une machine bien placée dans la compétition internationale de cette époque. Les études de moyenne énergie qui y sont menées pourront être prolongées, à plus haute énergie, grâce aux faisceaux de protons du synchrocyclotron de 600 MeV du CERN et du synchrotron Saturne de Saclay (3 GeV).
- 15 En cette fin d'année 1959, quelques équipes de physique se partagent l'essentiel du temps de faisceau externe. Rapidement, chacune d'elles se focalise sur un thème

d'étude spécifique qu'elle développera dans les années qui suivent : émission gamma suivant la capture des protons (Hélène Langevin-Joliot et ses collaborateurs), diffusion élastique et inélastique sur des cibles d'hydrogène ou de deutérium (Aron Michalowicz et coll.), excitation des premiers niveaux d'énergie de noyaux légers comme le lithium et le carbone (équipe de Nadine Marty), réactions de capture (pick-up) d'un ou deux neutrons par le proton traversant une cible (équipe de Pierre Radvanyi), réactions (p, 2p) au cours desquelles le proton incident éjecte un seul proton du noyau-cible sans pratiquement perturber le reste du noyau-cible (équipes de Michel Riou et de la chercheuse japonaise Toshiko Yuasha¹²). Aux déterminations des distributions angulaires et énergétiques des produits de réactions nucléaires viendront bientôt s'ajouter des mesures plus complexes, relatives à leur polarisation¹³.

- 16 Toutes ces études fournissent des données expérimentales qui renseignent directement sur la structure des noyaux-cibles, ou qui peuvent être comparées avec les résultats de calculs théoriques, dont certains sont effectués en collaboration avec le groupe de physique théorique du laboratoire. Les atomes constituant la cible – dont les protons n'explorent que le noyau –, peuvent être choisis à volonté dans le tableau de Mendeleïev. Cependant, les premières études se focalisent sur des éléments légers, pour lesquels les résultats attendus sont plus faciles à interpréter. Ce n'est que petit à petit que l'exploration s'étendra vers les éléments moyens, puis lourds.
- 17 Les chercheurs qui appliquent les techniques d'irradiation se partagent, pour leur part, deux grands champs expérimentaux, les études de structure nucléaire, pour ce qui est des spectroscopistes (dont les principaux responsables sont alors Jean Teillac et Nils Perrin), et celles de la spallation pour ceux qui s'intéressent aux mécanismes de réaction (groupes dirigés par Georges Bouissières, Jean Teillac, et Marc Lefort¹⁴). Le groupe de René Bernas, spécialiste des séparateurs d'isotopes, est également partie prenante dans ces deux types d'études. Les spectroscopistes ont à défricher un champ très vaste de noyaux, connus ou inconnus, dont ils déterminent les périodes de demi-vie, les énergies d'émission gamma et, *in fine*, les schémas de désintégration¹⁵. Toutes ces données, qui concernent une très grande variété d'isotopes, serviront de base aux études théoriques de structure nucléaire. Les travaux relatifs à la spallation se fixent tout d'abord pour objectif de vérifier la validité du modèle en deux étapes élaboré aux États-Unis, selon lequel la réaction se produit par une interaction directe suivie d'une évaporation (voir encadré page 45). Pour cela, les chercheurs comparent les données (probabilité de chaque réaction étudiée en fonction de l'énergie des protons incidents) aux résultats de simulations (calculs de Monte-Carlo) obtenues grâce aux premiers grands calculateurs du Centre d'Orsay. Mais très vite, un second centre d'intérêt surgit. C'est la possible existence de sous-structures dans les noyaux : ceux-ci pourraient être composés de neutrons et de protons, mais aussi de particules alpha (ensembles de deux neutrons et deux protons). On remarque, en effet, que de telles particules sont émises avec de grandes probabilités lors des collisions proton-noyau, ce qui constitue un indice de leur pré-existence au sein des noyaux.
- 18 L'ensemble de ces études concluront d'une part à la validité du modèle en deux étapes pour expliquer la spallation¹⁶, et d'autre part à de fortes présomptions en faveur de l'existence de sous-structures alpha, en particulier dans les noyaux lourds¹⁷.
- 19 Enfin, au cours des années 1960-1966, l'étude de la fission des noyaux lourds sous l'impact de protons de grande énergie prendra une importance de plus en plus grande (étude directe de la fission par Ludwik Kovalski et Claude Stéphan, compétition fission-

évaporation de particules par plusieurs équipes des groupes de Georges Bouissières et de Marc Lefort).

- 20 La fin des « années Synchro »
- 21 À la fin de l'année 1966, alors que la machine délivre annuellement environ 5 000 heures de faisceau, correspondant à environ 400 irradiations et à plus de 3 000 heures sur cible externe, l'ensemble des travaux qui y ont été effectués depuis 1960 ont déjà donné lieu à la soutenance de 26 thèses d'État, à la publication de 150 articles dans des revues – dont les plus courantes sont les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, le *Journal de Physique*, *Nuclear Physics* et *Physical Review* –, ainsi qu'à plusieurs centaines de communications à des colloques.
- 22 Cependant, les premiers faisceaux d'ions lourds utilisables pour la physique viennent d'être délivrés par le cyclotron à énergie variable (CEV) du laboratoire. Ce ne sera pas la fin du Synchro, loin de là, puisque les travaux vont se poursuivre sur cette machine pendant encore 23 ans, tout d'abord, pendant une dizaine d'années, avec ses caractéristiques initiales, puis, à partir de 1978, avec une énergie portée à 200 MeV et une intensité considérablement augmentée. Le Synchro sera ainsi exploité pour la physique jusqu'en 1989 puis sera cédé à la médecine en 1990. Il fonctionne encore aujourd'hui, et ses faisceaux sont utilisés dans le traitement de certains cancers (protonthérapie).
- 23 Cependant, l'année 1966 a marqué la fin de sa suprématie absolue, la fin des « années Synchro ». Il faudrait désormais compter avec le CEV, aux faisceaux tout aussi attrayants pour la physique. Ensuite, en 1971, une troisième machine, le Tandem, viendrait compléter la panoplie d'accélérateurs de l'IPN. L'Institut posséderait alors un potentiel de production scientifique exceptionnel¹⁸, mais le synchrocyclotron n'en constituerait plus l'unique pièce maîtresse. Il n'en serait plus qu'une des composantes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] « Les années Joliot », R. Bimbot, in *La revue pour l'histoire du CNRS*, n°16, printemps 2007, p. 41.
- [2] Rapports d'activité (Annuaire) du Laboratoire de physique nucléaire (1958-1964) puis de l'Institut de physique nucléaire (1965 et 1966).
- [3] « Le synchro-cyclotron de 157 MeV », A. Michalowitz *et al.*, *J. Phys. et le radium*, n°21, p. 305 (1960).
- [4] « L'IPN d'Orsay : cinquante ans de recherche », R. Bimbot, in *La revue pour l'histoire du CNRS*, n°15, novembre 2006, p. 30.
- [5] Voir également les nombreux articles publiés en français dans les numéros 21 à 27 du *Journal de Physique* de 1960 à 1966.
- [6] « Histoire de la radioactivité », R. Bimbot, Éditions Vuibert et Adapt, Paris, 2006.

NOTES

1. C'est-à-dire un directeur de recherche, un maître de recherche, un professeur ou un maître de conférences de cette époque.
2. Dans les années considérées ici, hormis le synchrocyclotron, les accélérateurs en fonctionnement sont le cyclotron de 85 centimètres de diamètre, transféré du collège de France, et des générateurs de haute tension, dont un accélérateur de 4 MeV à partir de 1964. Le cyclotron à ions lourds, dont le premier faisceau sera exploité pour la physique en 1966, est en construction.
3. Rappelons qu'à cette époque heureuse, les thèses d'État étaient préparées par des chercheurs permanents, stagiaires ou attachés de recherche au CNRS, assistants ou maîtres-assistants à l'université.
4. Les rapports d'activité [2], publiés annuellement à partir de 1958 et disponibles aux archives de l'IPN d'Orsay, recouvrent les travaux de ces trois centres.
5. Le schéma d'implantation de cette machine est donné dans l'encadré de la référence [1].
6. À cette date, la machine délivre du faisceau pendant en moyenne 60 heures par semaine, mais, dès novembre de la même année, elle passera à un régime de fonctionnement continu (24 heures sur 24 pendant 5 jours par semaine), ce qui impliquera 3 équipes de conduite (3 fois 8 heures).
7. La séparation isotopique est parfois pratiquée sans séparation chimique préalable si l'on peut réaliser une ionisation spécifique de l'élément concerné.
8. Lorsque l'on utilise un faisceau externe, le nombre de protons frappant la cible est déterminé par la mesure – dans un cylindre de Faraday –, de la charge électrique qui a été apportée. En faisceau interne, cette méthode n'est pas applicable, et l'on a recours à une méthode de monitoring. Celle-ci implique la mesure de la production d'un isotope dont la probabilité de production est connue dans une cible « moniteur » exactement alignée avec la cible principale, et suffisamment mince pour que tous les protons la traversent aisément, de façon que le même nombre de protons frappent les deux cibles.
9. Cette probabilité s'exprime in fine par la « section efficace » de la réaction considérée, une notion dont la définition dépasse le cadre de cet article.
10. En particulier, dès le début des années 1960, les détecteurs solides à semi-conducteurs vont envahir les laboratoires. Ils apporteront une amélioration considérable dans l'efficacité et la résolution des mesures.
11. La focalisation est réalisée par des bobinages électriques nommés « quadrupoles magnétiques » qui sont l'équivalent des lentilles convergentes et divergentes de l'optique classique.
12. L'équipe Yuasha utilise une chambre à bulles comme détecteur et explore plusieurs types de réactions nucléaires à l'aide de cet instrument généralement réservé aux études à plus haute énergie.
13. C'est-à-dire à l'alignement de leur spin, ce dernier étant une caractéristique quantique des particules dont une représentation classique (insuffisante mais commode) est le vecteur symbolisant la rotation d'une particule sur elle-même.
14. Dès 1963, ce groupe réalisera également des expériences sur faisceau extrait impliquant des mesures des particules émises à l'aide de détecteurs solides.
15. Schémas regroupant l'ensemble des données relatives à la désintégration d'un noyau donné, c'est-à-dire l'énergie et l'abondance des particules et rayonnements émis.

16. Les réactions de spallation sortirent du champ d'intérêt des chercheurs à partir de 1970, mais, curieusement, elles revinrent en force tout à la fin du XX^e siècle, lorsque l'on s'aperçut qu'elles constitueraient une source intéressante de neutrons pour les projets de réacteurs nucléaires hybrides, qui prévoient de coupler un réacteur fonctionnant en mode sous-critique et un accélérateur de protons. Cette recherche fondamentale « pure » pourrait ainsi déboucher, plus de quarante ans plus tard, sur des applications...

17. Les résultats se trouvèrent toujours en accord avec des simulations supposant la pré-existence de particules alpha dans les noyaux, mais ce bon accord était insuffisant pour établir cette pré-existence avec certitude, car on ne peut jamais exclure un mécanisme de « cristallisation » d'une particule alpha au moment de la collision nucléaire.

18. Voir réf. [4].

RÉSUMÉS

Avant sa disparition, en août 1958, Frédéric Joliot, qui succédait à son épouse Irène à la tête du Laboratoire de physique nucléaire d'Orsay, avait eu le temps de saluer l'arrivée du premier faisceau du synchrocyclotron. Dans les années qui suivirent, le laboratoire allait commencer ses recherches aux énergies importantes auxquelles lui permettait désormais d'accéder cette toute nouvelle machine. En parallèle, il allait lancer la construction d'un deuxième grand accélérateur, un cyclotron à ions lourds, qui n'entrerait en fonctionnement qu'en 1966. Les années 1958-1966 sont donc dominées par les expériences effectuées sur le faisceau de protons de 156 MeV du synchrocyclotron. Ce sont les « années Synchro ».

Just before his death, in August 1958, Frédéric Joliot, who succeeded his wife Irène at the head of the Orsay Laboratoire de physique nucléaire, was present for the first beam of the synchrocyclotron. The laboratory could then begin its research program with the relatively high energy protons delivered by this new machine. At the same time, was undertaken the construction of a second large accelerator, a heavy ion cyclotron, which would not come into operation before 1966. The years 1958-1966 were therefore dominated by the experiments performed on the 156 MeV proton beam of the synchrocyclotron.

INDEX

Mots-clés : Orsay, Frédéric Joliot, Irène Curie, physique nucléaire, synchrocyclotron, ions lourds, grand accélérateur, Synchro

AUTEUR

RENÉ BIMBOT

René Bimbot est agrégé de physique, docteur ès sciences, directeur de recherche émérite à l'IPN et au CNRS.