

# FUNÉRAILLES NATIONALES

DE

# FRÉDÉRIC JOLIOT

Membre de la section de physique,

à PARIS,

le mardi 19 août 1958.

---

## ALLOCUTION

DE

## M. FRANCIS PERRIN

Membre de l'Académie des sciences,  
Haut-Commissaire à l'Énergie Atomique.

---

MONSIEUR LE MINISTRE (1),  
MESDAMES, MESSIEURS.

La mort prématurée de Frédéric Joliot, moins de trois ans après celle d'Irène Joliot-Curie, frappe tragiquement l'Université et la science françaises, et sera ressentie dans le monde entier comme une grande perte pour l'humanité.

Frédéric Joliot était le plus brillant physicien français de sa génération et son œuvre le place parmi les plus grands hommes de

---

(1) M. Jean Berthoin, ministre de l'Éducation Nationale.

science de tous les pays qui, entre les deux guerres mondiales, firent faire à la physique les immenses progrès qui renouvelèrent cette science. Il était merveilleusement doué pour l'expérimentation; il y apportait une remarquable habileté, une imagination féconde et une vivacité exceptionnelle d'intelligence ouverte aux choses imprévues, qui faisaient de lui un grand chercheur et plus encore un très grand découvreur.

Né à Paris, le 19 Mars 1900, sorti en 1923 ingénieur physicien de l'École de Physique et de Chimie de la Ville de Paris, où il avait eu pour Maître Paul Langevin, il devient en 1925 préparateur particulier de M<sup>me</sup> Curie à l'Institut du Radium. Après quelques années de recherches dans des domaines relativement classiques de la radioactivité, pendant lesquelles il se forme au travail expérimental, il entreprend, après sa Thèse de Doctorat soutenue en 1930, une série d'expériences originales brillamment conçues et réalisées, le plus souvent en collaboration étroite avec Irène Curie devenue sa femme en 1926. Ces travaux aboutissent en peu d'années à des découvertes remarquables. C'est durant cette période éblouissante et féconde que M<sup>me</sup> Curie dit un jour à mon père Jean Perrin en parlant de son gendre et assistant: « Ce garçon est un feu d'artifice » et rien n'exprimait mieux l'impression qu'il nous faisait alors, à nous qui pouvions suivre de près son activité créatrice.

La première de ses découvertes importantes fût faite en reprenant l'étude d'un rayonnement curieusement pénétrant observée par le physicien allemand Bothe, en soumettant du béryllium aux rayons  $\alpha$  du polonium. M<sup>me</sup> Curie avait, par un effort persévérant, doté l'Institut du Radium de la possibilité de préparer des sources de polonium exceptionnellement intenses; en utilisant une de ces sources pour bombarder du béryllium, Frédéric et Irène Joliot-Curie observèrent que le rayonnement pénétrant émis produisait en traversant une couche de paraffine un rayonnement très ionisant et très peu pénétrant, et ils montrèrent que ce rayonnement secondaire est constitué par des protons arrachés à la paraffine et projetés vers l'avant avec

une grande énergie. Cette propriété du rayonnement découvert par Bothe le distinguait profondément des rayonnements pénétrants antérieurement connus, les rayons  $\gamma$ , et conduisit très directement le physicien anglais Chadwick, qui travaillait sur le même sujet, à l'identification dans ce rayonnement de projectiles matériels neutres, les neutrons, constituants non chargés électriquement des noyaux atomiques, de masse voisine de celle des protons et dont l'existence avait été supposée antérieurement par Rutherford.

Mais quelque importante qu'ait été cette première découverte comme étape décisive vers celle du neutron, c'est la découverte de la radioactivité artificielle qui est à la fois la découverte capitale de Frédéric Joliot et celle où se marquent le mieux son génie propre et son style. Ayant observé la persistance pendant plusieurs minutes d'une émission d'électrons positifs par l'aluminium préalablement irradié par les rayons  $\alpha$  d'une source de polonium, Frédéric Joliot comprenant toute l'importance du phénomène découvert et conscient de l'efficacité supérieure de l'équipe qu'il constituait avec sa femme, l'associa immédiatement au travail d'analyse, d'exploration complémentaire et de preuve des interprétations envisagées. C'est ainsi qu'en quelques jours d'une étroite collaboration, ils établirent de façon certaine la production artificielle de radioisotopes inconnus d'éléments usuels, un radioazote et un radiophosphore étant identifiés par des opérations chimiques. Ce travail apportait à la fois la découverte d'un nouveau type de radioactivité — analogue à la radioactivité  $\beta$  naturelle, mais dans laquelle les noyaux émettent des électrons positifs au lieu d'électrons ordinaires négatifs — et la preuve irréfutable, avec identification chimique des atomes formés, de transmutations provoquées par des bombardements nucléaires. C'est moins de 4 jours après l'observation initiale, le 15 Janvier 1934, que fût présentée à l'Académie des Sciences par Jean Perrin la note résumant cet ensemble de découvertes et les preuves décisives de leur interprétation. Dès la parution de cette note aux Comptes Rendus de l'Académie, le grand Rutherford écrivit aux Joliot une

lettre de vives félicitations, disant qu'il avait lui-même en vain cherché à faire apparaître des radioactivités par bombardement nucléaire. L'année suivante, le Prix Nobel de Chimie consacrait sur le plan international l'importance de la découverte de la radioactivité artificielle, mais, hélas, M<sup>me</sup> Curie était morte dans l'intervalle et ne put assister au triomphe de ses enfants et disciples, renouvelant celui qu'elle avait connu avec Pierre Curie au début du siècle.

Nommé professeur au Collège de France, Frédéric Joliot y organisa un laboratoire équipé pour les recherches dans le domaine qu'avaient ouvert ses découvertes, et lorsqu'au début de 1939, le chimiste allemand Hahn publia des preuves d'ordre chimique établissant que le noyau de l'atome d'uranium peut être brisé par l'action d'un neutron, en deux noyaux de masse comparable, c'est en moins de deux semaines que Frédéric Joliot, par une expérience d'une élégante simplicité, apporta une preuve physique directe du caractère explosif de cette division de l'atome d'uranium, appelée depuis fission, et de la grande énergie libérée par cette explosion. Poursuivant l'étude de ce phénomène, il fut le premier à prouver, avec la collaboration de Hans Halban et de Lew Kowarski, que la fission d'un atome d'uranium provoquée par un neutron, est accompagnée ou suivie de l'émission de plusieurs neutrons. Il était dès lors possible, ce que fit aussitôt Frédéric Joliot, d'imaginer un mécanisme de fissions successives d'atomes d'uranium se développant en avalanche, ou, comme l'on dit plutôt maintenant, en chaînes divergentes, de sorte qu'un nombre immense d'atomes, constituant une masse pondérable d'uranium, puissent se trouver désintégrés en un temps plus ou moins court à partir d'un amorçage infime par un seul neutron. Le principe de la libération, à notre volonté, de l'énergie interne des atomes d'uranium était trouvé, et les conditions dans lesquelles pourraient se développer les réactions nucléaires en chaînes furent rapidement conçues. Il apparut qu'il faudrait ralentir les neutrons émis par les fissions et que l'eau lourde serait le meilleur ralentisseur à associer à l'uranium. C'est pourquoi Frédéric Joliot fit

venir de Norvège le seul stock important d'eau lourde existant alors dans le Monde. Cette eau lourde arriva bien à Paris malgré la guerre, mais trop peu de temps avant l'invasion pour qu'elle puisse y être utilisée; Frédéric Joliot, tout en décidant de rester en France, fit partir pour l'Angleterre ses deux collaborateurs principaux avec la précieuse eau lourde. Il contribua ainsi au développement initial de l'effort de nos alliés qui, après avoir pris aux États-Unis à partir de 1942 l'ampleur que l'on connaît, devait aboutir à la réalisation en 1945 des premières bombes atomiques. Mais Frédéric Joliot, rentré à Paris, dut interrompre tout travail sur l'énergie atomique, d'autant plus que son laboratoire du Collège de France fut l'un des rares laboratoires effectivement occupés par les Allemands, et, tout en continuant des travaux de physique pure, il se consacra de plus en plus à de dangereuses activités de résistance qu'il ne put poursuivre vers la fin de l'occupation qu'en passant dans la clandestinité.

Après la Libération, quand l'explosion des bombes atomiques sur le Japon eût révélé au Monde l'extraordinaire puissance que l'énergie atomique mettait entre les mains des hommes, Frédéric Joliot, prévoyant l'importance capitale que pourrait prendre pour notre pays l'utilisation industrielle de cette nouvelle source d'énergie, et persuadé qu'il ne serait pas possible de développer avec une ampleur suffisante la recherche fondamentale en physique nucléaire indépendamment des applications pratiques, fit décider par le Général de Gaulle, Président du Gouvernement Provisoire, la création, sur une proposition faite en commun avec Raoul Dautry, alors Ministre de la Reconstruction, d'un organisme doté de pouvoirs étendus et chargé de reprendre avec de grands moyens les recherches et les réalisations relatives aux utilisations de l'énergie atomique. A la tête de cet organisme, le Commissariat à l'Énergie Atomique, furent placés Frédéric Joliot, comme Haut-Commissaire responsable des activités scientifiques et techniques et Raoul Dautry comme Administrateur Général ayant les responsabilités administratives et financières.

Le Commissariat à l'Énergie Atomique avait pour mission principale de préparer la France à l'utilisation industrielle de l'énergie

atomique. La tâche était immense après l'interruption des recherches atomiques pendant l'occupation, qui laissait de plus l'industrie française dans un état de grave affaiblissement. Il fallait former des hommes, développer des techniques nouvelles, créer des industries, trouver des sources d'approvisionnements de la matière première indispensable, l'uranium, dont le marché mondial était entièrement bloqué; il fallait en même temps préparer l'avenir en dotant la recherche fondamentale des puissantes installations devenues nécessaires, particulièrement en physique nucléaire.

Pour faire face à ces tâches, Frédéric Joliot rassembla autour de lui la plupart des spécialistes français des sciences et techniques nucléaires, pris aussi bien parmi ceux qui étaient restés comme lui en France que parmi ceux qui revenaient après avoir pu, plus ou moins, participer aux travaux atomiques de guerre en Angleterre, aux États-Unis ou au Canada, sous l'égide du Gouvernement de la France libre. Pendant plus de quatre ans, Frédéric Joliot dirigea en grand animateur cette équipe qui grossissait rapidement par le recrutement de jeunes pleins d'ardeur pour l'œuvre à accomplir. Sous son impulsion et son active direction, la première pile atomique française, Zoé, entra en service en 1948; la même année un premier gisement valable d'uranium était trouvé à La Crouzille, près de Limoges; deux industries spéciales étaient créées, l'une au sein du Commissariat pour la préparation de l'uranium métal, l'autre pour celle du graphite ultra pur dans une entreprise privée. En même temps un premier ensemble de laboratoires avait été installé dans le Fort désaffecté de Châtillon; mais dès 1948, cette installation apparut trop limitée pour permettre les développements nécessaires. Frédéric Joliot et Raoul Dautry firent alors décider par le Gouvernement la création à Saclay d'un grand centre de recherches nucléaires pouvant prendre toute l'ampleur désirable.

Frédéric Joliot dirigea lui-même l'établissement des plans de ce nouveau centre et décida la mise en construction des premiers grands équipements dont il devait être doté: un cyclotron de

300 tonnes, un accélérateur Van de Graaff de 5 millions de volts et une pile atomique expérimentale d'une puissance déjà importante de 2000 kw. thermiques, la pile EL2, qui met en jeu un principe nouveau d'extraction de chaleur par gaz sous pression, principe qui est maintenant utilisé en grand dans les premières centrales électriques atomiques industrielles anglaises ou françaises.

En 1950 Frédéric Joliot fut relevé de ses fonctions de Haut-Commissaire. Malgré son regret profond de ne plus diriger le développement de l'énergie atomique en France, il fut heureux quelques années plus tard de voir le grand centre d'études nucléaires de Saclay réalisé selon ses conceptions prolongées par la construction de quelques grands équipements qui n'avaient pu être prévus initialement.

Le poste de Haut-Commissaire à l'Énergie Atomique n'avait d'ailleurs pas été le seul emploi de haute administration scientifique qu'ait illustré Frédéric Joliot: aussitôt après la libération de Paris, il avait été nommé Directeur du Centre National de la Recherche Scientifique, poste qu'il occupa pendant plus d'une année en donnant une impulsion nouvelle à cet Organisme étouffé sous l'occupation, et en amorçant un vaste développement. Malgré la brièveté de son passage à la tête du Centre National de la Recherche Scientifique, il en fut un très grand Directeur, l'un des plus grands qu'ait eu cet Organisme depuis sa fondation.

Après 1950, Frédéric Joliot consacra la plus grande partie de son temps et de ses efforts à son laboratoire et à son enseignement du Collège de France. Mais ayant toujours été profondément préoccupé par les problèmes sociaux, et inquiet pour la paix du monde, il estima de son devoir de consacrer une partie de son activité à ce qui lui parut être la lutte la plus efficace contre les menaces de guerre, et apporta son grand prestige à l'Organisation des Partisans de la Paix, dont il était devenu le président mondial.

Atteint il y a plus de trois ans par la maladie dont les suites implacables devaient finalement le faire mourir, il fut cruellement frappé par la mort de sa femme survenue alors qu'il était à peine

convalescent d'une très grave crise hépatique. Malgré son état de santé, il tint à prendre à charge l'Institut du Radium, autrefois fondé par M<sup>me</sup> Curie et où il avait fait avec sa femme ses plus beaux travaux. Succédant à Irène Joliot-Curie dans la chaire de radioactivité de la Faculté des Sciences, il en fut nommé Directeur et en dirigea avec ardeur la réinstallation dans les nouveaux laboratoires d'Orsay. Il eut la grande satisfaction de mener à bien la construction de ces beaux laboratoires où doit se perpétuer la grande tradition des Curie et des Joliot.

Dans l'hommage suprême que nous rendons ici à Frédéric Joliot se trouvent associés tous les grands Corps auxquels il appartenait ou avait appartenu :

L'Académie des Sciences, présente en la personne de ses deux Secrétaires Perpétuels, MM. Louis de Broglie et Robert Courrier,

Le Collège de France, représenté par son Vice-Président, M. Robert Courrier, en l'absence de son Administrateur, M. Marcel Bataillon, en mission à l'Étranger,

La Faculté des Sciences de l'Université de Paris, représentée par son Doyen, M. Joseph Pérès,

Le Centre National de la Recherche Scientifique, représenté par son Directeur Adjoint, M. Michel Lejeune,

Le Commissariat à l'Énergie Atomique, que j'ai l'honneur de représenter.

Au nom de tous, j'adresse nos condoléances les plus émues à la famille de Frédéric Joliot, particulièrement à sa fille Hélène Langevin-Joliot et à son fils Pierre Joliot qui tous deux, engagés dans la Recherche Scientifique, continuent la belle tradition de leurs parents. C'est en pensant à eux que je tiens à associer à notre hommage le souvenir des Maîtres disparus de Frédéric Joliot, qui furent aussi les miens, Marie Curie, Jean Perrin, Paul Langevin, qui avaient pour lui la plus vive admiration et une profonde affection.

---



NOTICE  
SUR LA VIE ET L'ŒUVRE  
DE  
**FRÉDÉRIC JOLIOT**

Membre de la section de physique,

PAR

**M. LOUIS DE BROGLIE**

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences,

LECTURE FAITE EN LA SÉANCE ANNUELLE DES PRIX DU 14 DÉCEMBRE 1959.

---

MESSIEURS,

Les dernières années du XIX<sup>e</sup> siècle ont ouvert aux physiciens les portes d'un monde nouveau en leur permettant de commencer à observer et à comprendre les phénomènes de l'échelle atomique. Preuves expérimentales de l'existence des atomes, découvertes des électrons et des Rayons X, premières idées précises sur la constitution de la matière, tous ces progrès encore mal assurés et plus ou moins exactement interprétés faisaient déjà prévoir aux hommes de science avertis qu'on était à la veille d'un prodigieux développement de

connaissances nouvelles destinées à bouleverser toutes nos conceptions du monde physique et à permettre d'extraordinaires réalisations du côté des applications techniques.

C'est alors qu'en 1896 Henri Becquerel, grâce à sa grande habileté de physicien et à un hasard heureux qui lui fit trouver ce qu'il ne cherchait pas, découvrit la radioactivité de l'Uranium. Tous les physiciens comprirent l'importance de cette découverte, mais bien peu sans doute eurent l'intuition qu'elle nous faisait pénétrer jusqu'à la partie la plus cachée de la matière, jusqu'à ce cœur de l'atome qu'on appelle aujourd'hui le Noyau, et qu'elle nous révélait pour la première fois la possibilité d'une transmutation spontanée de la matière, d'une transformation d'un élément chimique en un autre, merveilleuse possibilité à laquelle avaient rêvé les penseurs de tous les temps et les alchimistes du Moyen Age.

Deux ans plus tard, en 1898, Pierre et Marie Curie découvrent dans d'admirables recherches l'existence du Radium, corps encore plus radioactif que l'Uranium, et cette découverte fondamentale, tout de suite étendue et prolongée par les recherches des deux savants français et de leurs collaborateurs, tels que Bémont et Debierne, a été à l'origine de très nombreux travaux, poursuivis notamment en Angleterre autour d'Ernest Rutherford, qui ont permis en quelques années d'établir la composition des familles d'éléments radioactifs, leur filiation, la nature des rayonnements qu'ils émettent lors de leurs transmutations, les lois statistiques auxquelles ces transmutations sont soumises, etc.. Puis vint en 1913 la théorie de l'atome de Bohr inspirée des idées de Rutherford qui, en nous apprenant que toute l'individualité de l'atome réside dans un très petit édifice central, le noyau de l'atome, nous a permis ainsi de situer le lieu où s'effectuent les transformations radioactives.

Je ne ferai pas ici l'historique des progrès de la Physique nucléaire qui, de découvertes en découvertes, ont abouti à tout un vaste ensemble de connaissances nouvelles et à des réalisations que tout le monde connaît aujourd'hui et dont on peut dire sans exagération

que l'usage qu'on en fera déterminera tout l'avenir de l'humanité. Mais j'ai voulu marquer, en rappelant les débuts de la Physique nucléaire, que c'est la science française qui a été à l'origine de son extraordinaire développement. Néanmoins, depuis 40 ans, depuis qu'en 1919 Rutherford a réalisé la première transmutation provoquée par l'homme, la Physique nucléaire dans son impétueux essor a fait l'objet de recherches dans toutes les nations du monde civilisé et les physiciens d'un grand nombre de pays ont contribué à son avancement. Si, dans cette compétition internationale, notre pays a pu continuer à jouer un rôle important et brillant, il le doit surtout à l'œuvre, en partie commune, de deux savants dont le nom restera célèbre dans les annales de la science française: Frédéric et Irène Joliot-Curie. Héritiers d'un nom illustre qui reste attaché aux débuts de la Physique nucléaire, ils lui ont apporté plusieurs contributions capitales qui ont attiré l'attention des savants du monde entier et qui leur ont permis, en recevant le prix Nobel, de faire attribuer pour la troisième fois aux membres d'une même famille cette haute récompense internationale.

Aussi notre Compagnie a-t-elle été frappée d'un deuil particulièrement cruel quand, au cours de l'avant-dernier été, Frédéric Joliot lui a été prématurément enlevé en quelques jours par un foudroyant accident de santé. Au lendemain d'un événement aussi regrettable qui a privé la science française d'un de ses plus illustres représentants qui était encore jeune et dont elle pouvait encore attendre beaucoup, il était naturel de consacrer à la vie et à l'œuvre de celui que nous venons de perdre une des notices qui sont lues annuellement à la séance publique de notre Académie.

\*

\* \*

Frédéric Joliot était né à Paris le 19 Mars 1900, dans un milieu très différent du milieu universitaire où sa carrière devait plus tard se développer. Il était le dernier-né d'une famille de six enfants dont l'aînée, sa sœur Jeanne, avait dix-sept ans de plus que lui.

Son père, Henri Joliot, avait dans sa jeunesse combattu dans les rangs de la Commune de Paris et, pour cette raison, avait dû prendre ensuite le chemin de l'exil. Plus tard, de retour en France, il s'était marié et, avec l'aide très efficace de sa femme, il avait pu s'établir dans le commerce de gros des calicots. La mère de Frédéric Joliot, Émilie Røederer, était une alsacienne protestante de conviction républicaine et très cultivée: elle était la fille d'un chef cuisinier de Napoléon III qui avait été un grand admirateur de l'empereur. Émilie Joliot donna à ses enfants une éducation protestante à tendance très libérale.

Henri Joliot n'était pas un intellectuel et s'intéressait peu à la vie quotidienne de la famille. En dehors de son activité de commerçant, il était grand chasseur et passait beaucoup de temps à jouer du cor de chasse et même à composer des airs de musique pour les jouer sur cet instrument. Très sensible aux beautés de la nature, il aimait, pendant les périodes de vacances, à initier ses enfants à en apprécier les charmes.

Aucun des enfants Joliot ne paraissait doué pour les sciences, ni même pour les études intellectuelles en général. Le fils aîné, qui devait être tué dès les premiers jours de la guerre de 1914, s'était lancé dans le commerce des voitures de sport; une des filles était devenue artiste peintre. Notre futur Confrère lui-même, pendant les études secondaires qu'il poursuivit au Lycée Lakanal de 1908 à 1917, n'eut guère à cette époque que des succès scolaires de nature sportive: un certain goût pour les sciences, et notamment pour la chimie, commençait cependant à se manifester en lui, mais plutôt comme une velléité sans orientation précise. C'est cependant ce goût assez mal défini pour les sciences qui le décida en 1917 à entrer à l'École municipale Lavoisier pour y préparer, dans les classes consacrées à cette préparation, le concours d'entrée de l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris. Il n'avait encore que la première partie du baccalauréat, mais diverses raisons le

poussaient alors à ne pas poursuivre plus avant ses études secondaires normales : la situation matérielle de sa famille, longtemps aisée, était devenue moins bonne ; les études à l'École Lavoisier étaient gratuites et la seconde partie du baccalauréat n'était pas exigée pour l'entrée à l'École de Physique et de Chimie.

En 1919, Frédéric Joliot, qui ne devait pas tarder à perdre son père, entre à l'École de Physique et de Chimie et y poursuit ses études dans la catégorie des physiciens. Il y fut un brillant élève et en sortit en 1923, major de sa promotion, avec le diplôme d'ingénieur E. P. C. I.

C'est au cours de ses études rue Vauquelin qu'il fit pendant les grandes vacances de 1922, du 21 Août au 30 Septembre, un stage de quelques semaines aux aciéries à la grande société Arbed (1) dans le grand duché de Luxembourg. A l'Arbed, il fut affecté au service thermique et eut à faire des recherches sur la meilleure utilisation des calories disponibles dans les gaz des hauts fourneaux. Il aimait plus tard à rappeler combien ce contact direct avec l'industrie et la technique avait contribué à compléter pour lui les enseignements plus théoriques qu'il recevait à l'École.

Sitôt conquis le diplôme d'Ingénieur, Frédéric Joliot fait son service militaire. Il est élève de l'École des Officiers de réserve à Poitiers, puis devient sous-lieutenant et est affecté au service de protection contre les gaz de combat au fort d'Aubervilliers. Son service militaire terminé, il lui faut s'orienter dans la vie et choisir une carrière. Il ne désire pas devenir Ingénieur dans l'Industrie : peu à peu, le goût de la recherche scientifique désintéressée s'est implantée en lui et il veut s'y consacrer. Il va prendre conseil du Directeur de son ancienne École, notre regretté Confrère Paul Langevin. Celui-ci l'encourage à s'engager dans la Recherche et lui suggère de devenir le préparateur particulier de Madame Pierre Curie qui, occupant à la Sorbonne la chaire qui avait été créée pour son mari, dirige l'Institut du Radium qu'on a construit pour elle. Joliot accepte

---

(1) Aciéries réunies de Burbach, Eisch, Dudelange.

avec enthousiasme la proposition de Paul Langevin. Le voilà devenu l'élève et le collaborateur quotidien de l'illustre physicienne qui a découvert le Radium: une magnifique carrière scientifique va commencer pour lui.

\*  
\* \*

La période qui s'écoule de 1925, date de son entrée au laboratoire Curie, à 1930, année où il soutient sa thèse de doctorat, a été pour Frédéric Joliot une période de formation pendant laquelle il s'entraîne à mettre au point toute une série de techniques expérimentales. Déjà il fait preuve de qualités remarquables qui se manifesteront ensuite tout au long de sa carrière: originalité de pensée, grande puissance de travail, extrême habileté expérimentale, grande rapidité de conception et de réalisation. Comme il arrive fréquemment, c'est au cours de ses premières recherches, œuvres de débutant portant encore souvent sur des sujets d'un intérêt mineur, qu'il a mis au point des méthodes et acquis des connaissances qui, quelques années plus tard, allaient l'aider grandement pour accomplir la partie capitale de son œuvre et faire de grandes découvertes.

Au laboratoire de Madame Pierre Curie, travaillait alors sa fille Irène Curie. Frédéric Joliot l'épouse en 1926 et dès lors commence entre eux une collaboration quotidienne qui devait durer de longues années et associer leurs noms dans la gloire de la grande renommée scientifique. Mais ces premières années de recherches furent pour Joliot des années difficiles. N'ayant pas de situation stable, il dut devenir professeur dans une école privée d'Électricité où il faisait un cours sur les mesures électriques et avait de lourdes obligations. Ayant en vue de devenir docteur ès Sciences alors qu'il n'avait passé que la première partie du baccalauréat, il dut d'abord préparer et passer la seconde partie de cet examen, puis franchir successivement toutes les étapes de la licence ès Sciences.

Cependant son travail de jeune physicien n'en était pas ralenti. Dès son entrée à l'Institut du Radium, il avait entrepris des recherches sur la préparation de couches métalliques très minces déposées

sur divers supports par pulvérisation cathodique ou évaporation thermique. Il avait étudié la résistivité de ces couches minces. Il avait déterminé les variations de cette résistivité en fonction de la température et de l'épaisseur de la couche et mis en évidence de curieux phénomènes d'irréversibilité dus à des transformations de la structure cristalline du métal. De ces recherches conduites avec beaucoup d'habileté et de perspicacité, Joliot avait tiré un certain nombre d'applications pratiques intéressantes et les techniques qu'il avait mises au point pour la préparation de feuilles métalliques très minces ont été, peu après, utilisées par le Professeur G. P. Thomson dans ses célèbres expériences sur la diffraction des électrons.

Plus importantes furent les études de Frédéric Joliot sur l'Électrochimie des Radioéléments dont l'exposé d'ensemble devait faire l'objet de sa thèse. Le problème est difficile, car les quantités de radioéléments dont on dispose sont généralement si faibles que des méthodes spéciales sont nécessaires pour faire l'étude de leurs propriétés électrochimiques. Joliot sut résoudre ce difficile problème. Il disposa les électrodes sur lesquelles se déposent les radioéléments de façon qu'elles fassent partie de la paroi du récipient où se fait l'électrolyse et que cette paroi soit assez mince pour laisser échapper à l'extérieur le rayonnement émis par le radioélément qui se dépose sur sa surface interne. La mesure du courant d'ionisation produit par ce rayonnement peut alors se faire à l'extérieur et permet de suivre d'une façon continue le dépôt en quantités impondérables du radioélément sur l'électrode. Grâce à cette si élégante méthode, Joliot put étudier quantitativement d'une manière complète le phénomène électrochimique, en déterminer la cinétique et découvrir plusieurs réactions nouvelles d'oxydation et de réduction du Polonium. Transposant ensuite sa méthode d'une manière très ingénieuse, il observe par un dispositif photoélectrique la lumière transmise à travers une électrode extrêmement mince et parvient ainsi à suivre, par l'observation de l'absorption de cette lumière, le dépôt progressif sur l'électrode de quantités impondérables d'un corps non radioactif et à faire l'étude de son électrochimie.

Dans un laboratoire consacré à l'étude de la radioactivité, Joliot devait naturellement effectuer constamment de petites études sur des points de détail concernant les corps radioactifs. C'est ainsi qu'il qu'il étudia, avec M. Onada, l'ionisation produite dans l'hydrogène pur par les rayons alpha, qu'il détermina en collaboration avec Irène Joliot-Curie le nombre de paires d'ions produites dans l'air par une particule alpha du Radium C' et du Polonium et qu'il fit des expériences pour déterminer la durée de vie très courte des noyaux de Ra C'. A cette époque, devenu docteur ès Sciences, il voyait sa situation matérielle s'améliorer: nommé assistant à la Faculté des Sciences, devenu chargé de recherches, puis maître de recherches à la Caisse nationale des Sciences (première ébauche de notre actuel Centre national de la Recherche scientifique), il peut enfin s'affranchir de la lourde tâche d'un enseignement dans une école privée et se consacrer entièrement à la recherche. Aussi, travaillant toujours en collaboration étroite avec sa femme Irène, va-t-il rapidement s'orienter vers des travaux plus importants, précurseurs de grandes découvertes.

Ce furent d'abord de belles recherches sur le recul subi par un atome radioactif lorsqu'il émet un rayon alpha. Il utilisa un nouveau type de chambre de Wilson où la chambre à détente ne contient plus d'autre gaz que de la vapeur d'eau. Écartant certaines conclusions inexactes énoncées par d'autres auteurs, il étudie minutieusement le phénomène du recul et montre que l'atome en recul a une grande probabilité de subir un choc avec un autre atome au début de son parcours. Le dispositif qu'il emploie lui fournit beaucoup de résultats importants et lui permet de préciser pour la première fois comment se comportent des atomes lourds animés de grandes vitesses dans un gaz composé d'atomes beaucoup plus légers. On pourra apercevoir à quel point tout se tient dans une grande œuvre scientifique si l'on médite sur une phrase écrite beaucoup plus tard par Joliot lui-même: « Ces expériences, qui n'ont pas apporté de résultats importants sur le processus de désintégration lui-même ont



permis à leur auteur de mieux apprécier qualitativement le processus de freinage des rayons de recul atomique par la matière traversée: c'est ainsi que l'auteur a pu élaborer, quelques années plus tard, une méthode d'expérimentation simple donnant une preuve physique de la fission de l'Uranium et du Thorium sous l'action des neutrons et établir un procédé physique pratique de séparation des fragments de fission de la masse d'Uranium dans laquelle ils ont pris naissance.» Nous reviendrons plus loin sur cette magnifique expérience de 1939, mais nous en voyons déjà apparaître une sorte de préfiguration dans les expériences faites par Joliot en 1931 sur le recul des atomes radioactifs.

A la suite de diverses circonstances, Madame Pierre Curie avait pu réunir à l'Institut du Radium des quantités importantes du grand métal radioactif dont elle avait, avec son mari, découvert l'existence. Sa fille et son gendre s'attachèrent à extraire de cette masse de Radium le Radium D et le Polonium qui s'y étaient accumulés depuis plusieurs années. Ils parvinrent à quadrupler la quantité de Radium D disponible au laboratoire et à préparer, soit par électrolyse, soit par volatilisation thermique, des sources de Polonium d'une très grande activité. Ces préparations longues et délicates n'étaient pas sans danger en raison de la grande activité des sources obtenues: prolongées ensuite par les études sur les neutrons dont nous parlerons bientôt, ces périlleuses manipulations ont peut-être, hélas, contribué à provoquer chez Frédéric et Irène Joliot les troubles de santé dont ils furent atteints à un stade plus avancé de leur vie.

Munis de sources intenses de Polonium, les Joliot purent étudier à fond le rayonnement très absorbable qui accompagne les désintégrations alpha de ce corps. Ils montrèrent que ce rayonnement n'est pas, comme on l'avait cru, un rayonnement  $\gamma$ , mais que les effets observés résultent des rayons H de transmutation émis par l'atmosphère d'azote qui entoure la source de Polonium. Là encore, ce travail devait préparer les grandes découvertes qu'allaient bientôt faire les deux jeunes savants, car il leur donna une grande expérience

pratique leur permettant de distinguer et de mesurer les intensités de rayonnements complexes, mélanges d'électrons, de particules lourdes et de photons de pouvoir pénétrant voisin. Ajoutons, pour être complet, que Frédéric Joliot put se servir de la chambre de Wilson qu'il avait mise au point pour étudier, sur la suggestion de M. Maurice Curie, la radioactivité du Samarium et mettre bien en évidence cette très faible activité.

Nous voici arrivés à l'année 1932 qui va être, pour Frédéric et Irène Joliot, le début de leurs plus brillants travaux. A ce moment une grande découverte était dans l'air: celle du neutron. Depuis une vingtaine d'années, le développement de nos connaissances sur la structure de la matière à l'échelle atomique avait conduit à penser que les deux constituants universels de la matière étaient le proton et l'électron, le proton portant l'unité de charge positive et de masse relativement élevée et l'électron portant l'unité de charge négative et de masse extrêmement faible. L'atome du plus léger des éléments chimiques, l'hydrogène, est formé d'un noyau central constitué par un proton autour duquel tourne un électron unique. Les atomes des éléments plus lourds sont formés d'un noyau central de charge totale positive, que l'on croyait alors constitué par un agglomérat de protons et d'électrons, autour duquel tournent des électrons négatifs. Telle était l'image de la structure des atomes que l'on admettait depuis la théorie de Bohr et elle ne faisait appel qu'à deux particules fondamentales, le proton et l'électron, car on pouvait mettre à part le photon de la lumière dont le rôle était différent et le neutrino dont l'existence était encore assez hypothétique. Deux sortes de particules seulement paraissaient donc permettre d'expliquer toute la constitution de la matière et ce schéma avait une belle simplicité qui paraissait très satisfaisante pour l'esprit. Cependant l'hypothèse que les noyaux sont formés par un agglomérat de protons et d'électrons soulevait quelques difficultés que seule la découverte du neutron allait permettre de lever et l'idée qu'il devait exister une particule électriquement neutre constituant pour

ainsi dire l'élément numéro zéro de la classification de Mendeleeff avait été envisagée dès 1923 par lord Rutherford, mais rien n'était venu confirmer cette hypothèse et elle était ignorée par beaucoup de physiciens.

Or, en 1930 les physiciens allemands Bothe et Becker firent une expérience dont l'interprétation resta assez mystérieuse. Ils montrèrent, en effet, que l'irradiation par les rayons  $\alpha$  du Polonium d'éléments légers tels que le Bore et le Béryllium donne naissance à un rayonnement très pénétrant: ils pensèrent que ce rayonnement était un rayonnement  $\gamma$ , mais le point mystérieux était que la radiation ainsi découverte était beaucoup plus pénétrante que toutes les radiations  $\gamma$  connues jusqu'alors.

Frédéric et Irène Joliot possédaient, nous l'avons dit, des sources très intenses de Polonium, ils avaient aussi une grande habitude de l'emploi des chambres de Wilson. En 1932, ils reprirent les expériences de Bothe et Becker, mais tandis que les auteurs allemands avaient étudié le phénomène à l'aide de compteurs à pointes, ils employèrent des chambres de Wilson. Ils mirent tout de suite en évidence le fait fondamental que le rayonnement de Bothe et Becker est capable de projeter avec de grandes vitesses les noyaux d'atomes présents dans les corps qu'il traverse. Cette découverte ne fut pas l'effet du hasard, car Frédéric et Irène Joliot avaient prévu que le rayonnement de Bothe et Becker, bien que très pénétrant lui-même, pouvait provoquer l'émission de radiations moins pénétrantes.. ils avaient monté leurs expériences en conséquence et c'est ce qui leur permit de décéler la projection de noyaux d'atomes. Ils parvinrent ainsi à photographier les trajectoires du brouillard marquant le passage des noyaux d'atomes projetés et de les identifier avec des noyaux d'hydrogène, d'hélium et d'azote.

L'expérience des Joliot était d'une importance capitale. Bien qu'ils aient observé dans le phénomène complexe qu'ils étudiaient la présence d'électrons très rapides dus à l'action d'un rayonnement  $\gamma$ , il paraissait dès lors impossible d'identifier le rayonnement de Bothe

et Becker avec des rayons  $\gamma$ , car aucun rayonnement de ce type n'aurait été capable de provoquer les projections de noyaux atomiques observés. Le mystère restait donc complet.

C'est le physicien anglais Chadwick qui parvint à le percer. Alerté par les remarquables résultats de Frédéric et Irène Joliot et ayant à sa disposition des dispositifs expérimentaux qui n'existaient pas alors à l'Institut du Radium, il put rapidement montrer que les projections de noyaux atomiques observés ne pouvaient résulter que de l'impact sur ces noyaux de particules ayant une masse voisine de celle du proton. Comme Chadwick avait connaissance de l'hypothèse de l'existence du neutron faite naguère par Rutherford, hypothèse que les Joliot ignoraient, il proposa tout de suite d'identifier les particules inconnues avec les neutrons de Rutherford et dès lors l'existence de ces neutrons ne fit plus de doute.

Naturellement, les physiciens de tous les pays se mirent à étudier les neutrons et les phénomènes qui les produisent. Frédéric et Irène Joliot accomplirent alors toute une série d'expériences pour étudier les propriétés des neutrons et l'ensemble des phénomènes très complexes qui accompagnent l'émission de ces particules par les éléments légers. Nous n'entrerons pas ici dans le détail de leurs recherches et nous nous contenterons de mentionner qu'au cours de l'une d'elles, ils furent amenés à faire l'hypothèse qu'un noyau d'atome est susceptible de capter un des électrons périphériques qui tournent autour de lui en donnant ainsi naissance au noyau d'un nouvel élément. Cette transmutation « par capture électronique » est aujourd'hui un phénomène bien connu.

La découverte du neutron introduisait dans la physique une particule nouvelle ouvrant ainsi la voie à une longue série de découvertes analogues qui devait nous conduire à connaître à l'heure présente plus de vingt particules fondamentales différentes: nous sommes loin de la belle simplicité qui paraissait exister au temps où l'on ne connaissait que le proton et l'électron! Mais le neutron s'est tout de suite montré avoir une importance considérable dans la structure de

la matière: depuis un travail de M. Heisenberg dont la publication a suivi de peu la découverte du neutron, nous savons que les constituants du noyau sont, non pas le proton et l'électron, mais bien le proton et le neutron, particules de masses très voisines qu'on peut même considérer comme deux états différents, l'un chargé positivement et l'autre neutre, d'une même particule constituant fondamental des noyaux, le nucléon. Cette nouvelle manière de voir est aujourd'hui universellement adoptée et elle a permis de lever les difficultés que soulevait l'ancienne hypothèse d'une constitution protono-électronique des noyaux.

Mais la découverte, en la personne du neutron, d'une nouvelle particule fondamentale n'était, nous l'avons vu, que le premier exemple d'une longue série de découvertes analogues et elle fut suivie, presque immédiatement, par la mise en évidence de l'existence dans les rayons cosmiques d'une autre particule nouvelle, l'électron positif ou positon. Cette découverte, due aux mémorables expériences d'Anderson d'une part, de Blackett et Occhialini d'autre part, suggérerait que dans un grand nombre d'interactions nucléaires dont l'interprétation restait obscure, devaient intervenir les électrons positifs. Frédéric et Irène Joliot, utilisant une chambre de Wilson avec champ magnétique, montrèrent qu'en traversant la matière, les photons peuvent déclencher l'émission d'électrons positifs dont le nombre augmente rapidement avec le nombre atomique du radiateur. Poussant plus loin leurs recherches, ils montrèrent qu'un photon peut provoquer l'apparition d'une paire électron-positon, mettant ainsi pour la première fois en évidence cet important phénomène de «matérialisation» du rayonnement, phénomène dans lequel l'énergie du photon, qui doit être supérieure à un million d'électrons-volts, fournit l'énergie nécessaire à la création de deux électrons de signe contraire ayant chacun une énergie interne d'environ un demi-million d'électrons-volts et peut en plus leur communiquer à chacun une «énergie cinétique». Ils établirent aussi l'existence d'une sorte de «matérialisation interne» qui se produit lorsqu'un noyau ayant été

porté dans un état excité par l'absorption d'une radiation revient dans un état d'énergie moindre avec émission d'une paire électron-positon.

La théorie des positons due à M. Dirac prévoit que ces particules doivent avoir une durée de vie très courte parce que, rencontrant constamment dans la matière des électrons négatifs, ils ont une tendance à s'annihiler avec l'un d'entre eux, l'énergie globale des deux électrons de signe contraire étant émise sous forme de rayonnement lors de cette annihilation. Ce phénomène de « dématérialisation de la matière » fut mis en évidence simultanément par M. Jean Thibaud et Frédéric Joliot dans des expériences indépendantes. Les expériences de Joliot, faites avec la méthode de la trochoïde antérieurement mise au point par M. Thibaud, montrèrent que dans ce processus de dématérialisation, les photons semblent toujours être émis par paires dont chaque constituant a une énergie au moins égale à un demi-million d'électrons-volts.

En procédant ainsi à l'étude minutieuse des phénomènes très complexes d'émission de neutrons et de positons par les éléments légers Be, B, F, Na, Al quand ils sont bombardés par les rayons  $\alpha$  du Polonium, Frédéric et Irène Joliot furent conduits, entre autres résultats importants, à la première mesure exacte de la masse du neutron.

Dans ses expériences cruciales de 1932, Chadwick faisant le bilan d'énergie de la réaction  ${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} = {}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n}$  avait cru pouvoir en déduire que la masse du neutron était inférieure à celle du proton, c'est-à-dire que des deux formes proton et neutron du nucléon, la forme neutre serait la plus stable. Reprenant dans des conditions plus précises le bilan énergétique des transmutations neutrogènes obtenus avec  ${}^{10}\text{B}$ ,  ${}^{19}\text{F}$ ,  ${}^{23}\text{Na}$  et  ${}^{17}\text{Al}$ , Frédéric Joliot et sa femme purent affirmer que la masse du neutron est légèrement supérieure à 1,0089, donc sensiblement supérieure à celle du proton qui, avec la même unité, vaut 1,0076 environ: c'est donc le proton qui est la forme stable du nucléon. Ce résultat annoncé au Conseil de Physique Solvay de 1933 a été toujours confirmé depuis lors.

Parcourant d'un seul regard les travaux effectués par Frédéric et Irène Joliot pendant les deux années 1932 et 1933, nous pouvons dire qu'ils furent d'une importance capitale. Sans doute la découverte du neutron appartient sans conteste à M. Chadwick, mais les recherches des Joliot sur le rayonnement de Bothe et Becker ont orienté celles du physicien anglais et sans elles la découverte du neutron eut été au moins retardée. Sans doute la découverte du positon a été faite par des savants étrangers, mais les travaux des jeunes physiciens du laboratoire Curie sur les transmutations neutrogènes et positogènes leur ont permis, à côté de beaucoup d'autres résultats importants, d'obtenir la véritable valeur de la masse du neutron et d'établir l'existence des deux phénomènes fondamentaux inverses de matérialisation des rayonnements et de dématérialisation des paires d'électrons.

Leur renommée de physiciens était devenue internationale, mais il leur manquait encore d'avoir effectué une grande découverte qui leur appartint en propre. Cette grande découverte, se détachant comme un fruit mûr des beaux travaux qu'ils venaient d'effectuer, ce fut celle des *radioéléments artificiels*.

Frédéric et Irène Joliot ayant constaté l'émission simultanée de neutrons et de positons lors de l'irradiation par les rayons  $\alpha$  des éléments Be, F, Na et Al se demandèrent d'abord si ces deux émissions avaient le même seuil d'énergie, c'est-à-dire si elles commençaient simultanément pour une même valeur minimum de l'énergie du rayonnement  $\alpha$ : ils constatèrent qu'il en était bien ainsi. Mais, et ce fut là l'origine de la grande découverte, si, après avoir irradié les éléments étudiés avec des rayons  $\alpha$  d'énergie suffisante pour provoquer l'émission de neutrons et de positons, l'on abaissait l'énergie des  $\alpha$  au-dessous du seuil d'émission, ou même si l'on supprimait complètement l'irradiation, l'émission des neutrons cessait immédiatement, tandis que celle des positons persistait. Elle persistait pendant une heure dans le cas du Bore, pendant plus d'un quart d'heure avec l'Aluminium et un résultat analogue était obtenu avec le Magnésium.

L'interprétation de ce fait inattendu s'imposa immédiatement. L'émission des positons présentait en effet les mêmes caractéristiques que celles des émissions  $\beta$  naturelles : l'activité diminuait exponentiellement en fonction du temps et les positons présentaient un spectre continu d'énergies. Frédéric et Irène Joliot furent donc tout naturellement amenés à penser que le bombardement  $\alpha$  transformait l'élément bombardé en un radioélément artificiel qui se détruisait ensuite spontanément avec émission de positons. Ils purent aisément prévoir ainsi que le Bore irradié donne naissance à un isotope 13 instable et radioactif de l'Azote, l'Aluminium à un isotope 30 du Phosphore et le Magnésium à un isotope 27 du Silicium. Puis, par des méthodes qui exigeaient une très grande habilité expérimentale en raison de la très petite quantité des radioisotopes formés et de la durée très courte de leur vie, ils parvinrent à confirmer leurs hypothèses en caractérisant chimiquement les corps radioactifs instables résultant dans chaque cas du bombardement.

La découverte ainsi effectuée, rendue publique par leurs auteurs dans une Note mémorable publiée le 15 Janvier 1934 dans les Comptes rendus de notre Académie, eut un immense retentissement, car elle était d'une importance capitale. La possibilité d'obtenir, à l'aide de désintégrations provoquées, des éléments radioactifs isotopes d'éléments stables et à durée de vie plus ou moins longue ouvrait aux physiciens des perspectives nouvelles extrêmement étendues. Ces éléments radioactifs artificiels, ces éléments « marqués » comme on les nomme souvent, sans doute parce qu'on affecte d'une astérisque le symbole chimique qui les représente pour les distinguer de l'isotope stable, on les a bientôt obtenus en employant comme agents de bombardement non seulement les rayons des corps radioactifs naturels, mais toutes sortes de particules électrisées (protons, deutons, etc..) animés de grandes vitesses et aussi les neutrons qui, dénués de charge électrique, pénètrent facilement dans les noyaux d'atomes en les désorganisant. En quelques années, des centaines de types différents de radioisotopes artificiels ayant des périodes allant



d'une fraction de seconde à plusieurs années ont pu être préparés et mis à la disposition des chercheurs. Ils ont eu des applications de la plus haute importance en chimie, en biologie, en médecine et même dans d'autres domaines.

Cette découverte éclatante mettait Frédéric et Irène Joliot au premier rang des savants du monde entier. A la fin de 1935, ils recevaient le prix Nobel de Chimie pour avoir allongé la liste des éléments chimiques connus. C'était le troisième prix Nobel obtenu dans leur famille, puisqu'en 1903, Pierre et Marie Curie avaient partagé avec Henri Becquerel le prix Nobel de Physique pour la découverte de la Radioactivité et qu'en 1911, Marie Curie devenue veuve avait reçu le prix Nobel de Chimie pour ses travaux sur le Radium et le Polonium.

\*  
\* \*

La découverte des radioéléments artificiels couronnée par l'attribution du prix Nobel, marquait un tournant décisif dans la carrière de Frédéric Joliot. Plongé brusquement ainsi dans la vive lumière (trop vive peut-être pour ceux qui aiment le travail et la recherche) de la grande célébrité scientifique, il va voir sa carrière se développer rapidement et connaître les satisfactions et les servitudes des honneurs et des charges.

Madame Pierre Curie avait eu la joie de voir ses enfants faire une grande découverte, mais sans la voir couronnée par le prix Nobel, car elle mourut dans l'été 1934. Elle fut remplacée dans la chaire de Radioactivité de la Faculté des Sciences et dans la direction de l'Institut du Radium par son ancien et fidèle collaborateur André Debierne et la Maîtrise de Conférences que la promotion de Debierne laissait vacante fut attribuée au jeune Frédéric Joliot qui entrait ainsi à 34 ans dans le haut enseignement. Il ne devait pas rester longtemps à la Faculté des Sciences de Paris, car dès 1937, il devient Professeur au Collège de France, ce grand établissement n'ayant pas hésité à demander la transformation d'une Chaire de Sanscrit en

Chaire de Chimie nucléaire pour pouvoir s'adjoindre un jeune savant aussi illustre.

Lors de son entrée au Collège de France, Frédéric Joliot fut remplacé dans la Maîtrise de Conférences de Radioactivité qu'il occupait par sa femme Irène Joliot-Curie, qui se trouva ainsi rattachée à la direction de l'Institut du Radium où sa mère avait si longtemps et si brillamment travaillé. Quelques années plus tard, à la retraite d'André Debierne, Irène Joliot devait devenir titulaire de la Chaire de Radioactivité et prendre la direction de l'Institut du Radium.

Ainsi, à partir de 1937, Frédéric et Irène Joliot, rattachés à des établissements différents, la Sorbonne et le Collège de France, dirigeant des laboratoires dont les préoccupations étaient différentes cessèrent la longue et fructueuse collaboration qui avait marqué les dix premières années de leur mariage et associé leurs noms dans toute une suite de mémorables travaux. Dès lors leurs activités et leurs recherches se développèrent indépendamment.

A partir de son entrée au Collège de France, Frédéric Joliot, tout en maintenant le contact avec l'Institut du Radium, a désormais à sa disposition des centres de recherches indépendants. C'est d'abord le beau laboratoire de Chimie nucléaire que le Collège de France fait installer pour lui où, avec de nombreux collaborateurs, MM. Savel, Halban, Kowarski, Nahmias, Pontecorvo, Zlotowski, etc.. et aussi avec l'aide de M. Henri Moureu, sous-directeur au Collège de France, et de ses élèves MM. Süe et Dodé, il organise tout un centre très actif de physique nucléaire et effectue lui-même les importantes recherches dont nous allons parler dans un instant. Mais à ce laboratoire, s'en joignent deux autres dont l'origine et le but sont un peu différents, l'un situé à Arcueil-Cachan et l'autre à Ivry.

Le laboratoire de Cachan avait été mis à la disposition de Joliot par M. Eyrolles, directeur de l'École des travaux publics, Joliot y avait établi un générateur de tension du type Van de Graaf fournissant 1 200 000 volts et un tube accélérateur du type Lauritsen. Il y

avait dirigé d'importantes expériences montrant que, pour éviter l'apparition d'effluves autour des conducteurs chargés, il y avait avantage à entourer ces conducteurs d'une atmosphère gazeuse et qu'à ce point de vue, le tétrachlorure de Carbone possédait des propriétés remarquables. Plus tard le gaz Fréon fut employé dans le même but avec plus de succès encore.

Le laboratoire d'Ivry, nommé laboratoire Ampère, appartenait au début à une société privée, la Compagnie générale Électrocéramique. En collaboration avec MM. Lazard et Savel, Frédéric Joliot y avait installé un générateur d'impulsion permettant de communiquer à des ions ou à des électrons une énergie de 2 millions d'électrons-volts, le tube accélérateur pouvant aussi être utilisé comme source de Rayon X. L'année même où il entrait au Collège de France, il fit procéder par le Centre National de la Recherche Scientifique à l'achat du laboratoire Ampère qui porta dès lors le nom de « Laboratoire de synthèse atomique du C. N. R. S. » et dont naturellement il assumait la direction. Il outilla ce nouveau laboratoire de façon à lui permettre de poursuivre des recherches dans le domaine biologique en y installant des élevages d'animaux et en y faisant collaborer des équipes de biologistes, de physiciens et de chimistes.

Professeur au Collège de France, faisant chaque année des cours originaux et directeur de trois grands laboratoires, Joliot n'en conserve pas moins une grande activité de recherche personnelle. En 1938, on le voit publier plusieurs notes dans nos Comptes rendus avec M. Zlotowski sur la formation d'un isotope 5 de l'Hélium lors des collisions entre hélions et deutérons et sur la détermination par la méthode de Wilson de l'énergie des particules émises lors des transmissions. Mais dès le début de 1939, le titre des notes qu'il publie montre que son attention se concentre sur le phénomène récemment découvert qui excite alors l'intérêt de tous les physiciens : marchant dans la voie que viennent d'ouvrir les travaux de MM. Hahn et Strassmann, il s'attache à l'étude de la « fission » ou bipartition de l'Uranium et du Thorium sous l'action des neutrons.

Dans d'admirables expériences où s'affirme une fois de plus son exceptionnel talent d'expérimentateur, il montre que la bipartition a lieu avec production d'atomes radioactifs beaucoup plus légers s'identifiant avec des éléments chimiques compris entre le Brome et le Cérium. Comme on peut prévoir que l'énergie libérée au moment de la bipartition est de l'ordre de 200 Mev et qu'elle est employée pour la plus grande part à lancer les fragments à de grandes vitesses, on peut penser que ces fragments pourront sortir de la mince couche d'oxyde d'Uranium où se produit la fission et parcourir environ trois centimètres dans l'air. S'inspirant d'une méthode qu'il avait mise au point plusieurs années auparavant pour étudier les rayons de recul des désintégrations  $\alpha$ , Joliot recueille les fragments et peut étudier les rayonnements et leur nature chimique, confirmant bien ainsi d'ailleurs que l'énergie libérée est d'environ 200 Mev par bipartition. Il put aller plus loin: introduisant une couche mince d'Uranium dans une chambre de Wilson parcourue par des neutrons ralentis, il put photographier la trajectoire d'un fragment de fission, obtenant ainsi une vue encore plus directe du phénomène et confirmant le fait que le phénomène de bipartition est dû principalement aux neutrons lents.

Joliot avait prévu que la bipartition devait s'accompagner d'une émission de neutrons, les éléments fissibles contenant un excès de neutrons. En collaboration avec MM. Halban et Kowarski, il put mettre en évidence cette émission de neutrons et montrer qu'environ 3 neutrons sont émis en moyenne lors de la bipartition de l'Uranium par un neutron thermique: il put aussi déterminer la répartition d'énergie de ces neutrons rapides.

Ces résultats étaient d'une grande importance. Dès 1935, en faisant son discours Nobel, Frédéric Joliot avait indiqué que, si l'on parvenait à déclencher dans la matière des réactions nucléaires en chaîne avec libération d'énergie cinétique, il deviendrait possible de libérer des quantités considérables d'énergie susceptibles d'être utilisées. Et voilà que cette prédiction paraissait à la veille de se

réaliser par la production de bipartitions explosives se développant en chaînes divergentes !

Évidemment, les premières chaînes de bipartitions réalisées étaient encore convergentes et s'arrêtaient d'elles-mêmes, mais Joliot et ses collaborateurs apercevaient déjà la possibilité d'obtenir des réactions en chaînes divergentes en utilisant comme ralentisseurs de neutrons des corps qui en absorbent peu, comme le graphite et l'eau lourde. Pour pouvoir contrôler le développement des chaînes, ils envisageaient l'introduction d'absorbants de neutrons, tels que le Cadmium. D'autres expériences qui ne furent pas toutes publiées permirent de préciser des points particuliers.

Entre temps, la guerre de 1939 avait commencé. Les études sur la fission prenaient de ce fait une importance accrue, car on pouvait déjà en entrevoir les applications militaires. Joliot put se procurer le stock mondial d'eau lourde qui avait été fabriquée en Norvège. Il prit avec ses collaborateurs Halban, Kowarski et Francis Perrin une série de brevets précisant tous les dispositifs qu'ils avaient envisagés pour la libération de l'énergie nucléaire : des plis cachetés furent aussi déposés dans les archives de notre Académie, plis cachetés qui ont été ouverts depuis.

Mais l'invasion allemande de Mai-Juin 1940 vint interrompre ces recherches qui s'étaient poursuivies dans un grand secret. Joliot parvint à faire passer en Angleterre le stock d'eau lourde dont il était détenteur et ses collaborateurs, Halban et Kowarski, ayant pu se rendre en Angleterre, purent y continuer les expériences suivant les plans qui avaient été établis.

Pendant l'occupation, Frédéric Joliot poursuit au ralenti et un peu clandestinement ses recherches au Collège de France. Il milite dans la Résistance. En juin 1943, il est élu dans notre Académie qui l'appelle à siéger dans sa section de Physique.

Au moment de la libération, en 1944, Frédéric Joliot publie encore quelques travaux sur la fission : il étudie une méthode physique d'extraction des fragments de bipartition qui le conduit à mettre en

évidence l'existence du radiopraséodyme d'une période de 12,7 jours, il donne une méthode de mesure du parcours effectué par un fragment radioactif de nature chimique donnée, il étudie avec Irène Joliot-Curie la bipartition de l'Ionium et détermine la section efficace de ce phénomène. Mais à cette époque, ce sont principalement les applications biologiques de radioéléments artificiels qui paraissent avoir retenu son attention. Avec la collaboration de MM. Süe et Leblond, il entreprend des expériences sur le métabolisme de l'iode dans l'organisme. Avec MM. Feyel et Süe, il étudie à l'aide du radioiode la perméabilité des globules rouges du sang à certains ions. En liaison avec notre Confrère M. Robert Courrier, MM. Süe et Horeau, il entreprend des recherches concernant le métabolisme de l'iode et notamment le fonctionnement de la glande thyroïde. Avec l'emploi comme indicateur du radioiode de période égale à huit jours, des résultats importants ont été ainsi obtenus concernant le rôle de la thyroxine dans les organismes vivants, de sa pénétration dans la thyroïde et dans l'hypophyse, de son intervention dans le développement des embryons. Avec notre Confrère M. Lacassagne, il démontre que l'irradiation d'un lapin par des neutrons peut provoquer chez cet animal un cancer du foie. Joliot appréciait fort ce genre de travaux qui faisaient fructueusement collaborer physiciens, chimistes et biologistes.

Les travaux dont nous venons de parler ont fait l'objet de publications pendant les années 1944 et 1945, mais déjà à cette époque, Frédéric Joliot, dont jusque-là toute l'activité avait été consacrée à la Recherche scientifique, venait d'assumer d'importantes fonctions administratives, car, dès la libération, il avait été nommé Directeur du Centre National de la Recherche Scientifique. Ce grand organisme, qui depuis plus de 20 ans a rendu tant de services à la science française, avait, grâce à des dévouements que nous ne devons pas oublier, survécu à l'occupation allemande: à la fin de 1944, en présence d'une situation nouvelle, il devait être réorganisé et renforcé et c'est à cette tâche qu'avec compétence, autorité et dynamisme, Frédéric Joliot s'attacha pendant plus d'une année.

Mais il tournait son regard d'un autre côté, et, dès la fin de 1945, il proposait au gouvernement du Général de Gaulle de reprendre et de développer en France, au sein d'un nouvel organisme, les recherches et les réalisations en matière d'énergie atomique que les événements de Juin 1940 avaient interrompues. Ainsi fut créé au début de 1946 le Commissariat à l'Énergie atomique, organisme d'état jouissant d'une grande autonomie et d'une liberté d'action étendue. A la tête de ce Commissariat furent placés un Haut-Commissaire qui fut Frédéric Joliot et un Administrateur général qui fut M. Raoul Dautry, alors Ministre de la Reconstruction. M. Dautry suivait depuis plusieurs années les travaux de Frédéric Joliot sur la libération de l'énergie nucléaire: en 1940, alors qu'il était Ministre de l'Armement, il avait facilité le transport en France du stock d'eau lourde qui se trouvait alors en Norvège. Avec le concours de Madame Irène Joliot-Curie, de MM. Francis Perrin et Pierre Auger, du Général Dassault représentant la défense nationale, Frédéric Joliot se consacra avec ardeur aux premières réalisations; il s'entoura de savants et de techniciens parmi lesquels figuraient plusieurs de ses anciens collaborateurs et dont certains avaient participé pendant la guerre aux études et aux réalisations effectuées en Angleterre, au Canada et aux États-Unis.

Malgré les difficultés que présentent toujours les premières mises au point, le travail progressa rapidement et dès 1948, au fort de Châtillon, la première pile atomique française, devenue célèbre sous le nom de Zoë, fut mise en fonctionnement. En même temps était entreprise la construction aux environs de Paris, à Saclay, d'un grand centre de Recherches nucléaires où devaient être installés un cyclotron de 280 tonnes, un accélérateur Van de Graaf de 5 millions d'électron-volts et une deuxième pile d'environ mille kilowatts. Ce projet (on connaît tout le développement qu'il a pris depuis lors) était en cours de réalisation quand des incidents de nature politique amenèrent en 1950 le gouvernement français à mettre fin à la mission de Haut-Commissaire confiée à Frédéric Joliot.

On put croire alors qu'une nouvelle période de grande activité de

recherches allait s'ouvrir dans la carrière de l'illustre savant. Déchargé de la lourde tâche qu'il avait assumée, il pouvait retourner librement à ses travaux et à ses enseignements dans le cadre du Collège de France et des laboratoires qu'il dirigeait.

Lauréat du prix Nobel, Membre de l'Académie des Sciences, Membre libre de l'Académie de Médecine, Commandeur de la Légion d'honneur, il était dans tout l'éclat d'une brillante carrière et n'avait encore que 50 ans. Membre de nombreuses académies étrangères, docteur *honoris causa* de plusieurs universités, il avait reçu dans tous les pays du monde de nombreuses distinctions ou marques d'estime. Il était entouré de nombreux élèves qui, entraînés par le dynamisme de leur Maître, s'inspiraient de son exemple et de sa pensée.

Malheureusement, c'est vers cette époque que la santé de Frédéric Joliot, ainsi, d'ailleurs, que celle de sa femme Irène, commença à s'altérer. Il souffrait d'une maladie de foie dont les symptômes s'aggravèrent rapidement. Il fut obligé de se reposer, de diminuer et parfois d'interrompre son activité. Nous ne le voyions plus que rarement assister aux séances de notre Académie. En 1955, la situation s'aggrava et, à la fin de l'année, il dut entrer dans une clinique où il resta longtemps en traitement: son état était inquiétant, sa vie même semblait menacée. Cependant, au début de 1956, il entra en convalescence et put sortir de la clinique. C'est à ce moment qu'en Mars 1956, Irène Joliot-Curie, dont la santé avait paru moins altérée que la sienne, mourut brusquement et prématurément. Le gouvernement fit faire à l'illustre physicienne des obsèques nationales qui furent célébrées dans la grande cour de la Sorbonne. Frédéric Joliot y assista, portant encore sur ses traits les marques de sa grave maladie.

Malgré tant d'épreuves physiques et morales, notre Confrère paraissait se remettre progressivement et, l'automne suivant, à la demande d'un grand nombre de Collègues, il consentit à accepter de succéder à sa femme dans la chaire de Radioactivité de la Faculté



des Sciences et à la direction du Laboratoire Curie. Il se trouvait ainsi cumuler les fonctions de Professeur à la Sorbonne et de Professeur au Collège de France, fait très exceptionnel on le sait. Il assumait la direction de quatre laboratoires et devait en plus s'occuper d'installer à Orsay l'important Centre de Physique nucléaire dont la Faculté des Sciences venait de décider la création. A toutes ces tâches, malgré un état de santé resté très précaire et qui l'obligeait à beaucoup de ménagements, il a consacré ses dernières forces. Bien qu'on le sût malade, rien ne faisait prévoir sa fin subite.

Parti se reposer dans sa propriété de Bretagne au début des grandes vacances de 1958, il fut victime d'un accident brutal, brusque réveil, sans doute, du mal qui le minait. Ramené d'urgence à Paris, il fut soigné à l'hôpital Saint-Antoine, mais on ne put le sauver et il mourut le jeudi 14 Août 1958. Quelques jours plus tard, des obsèques nationales lui furent faites à son tour dans la grande cour de la Sorbonne.

Un grand deuil avait frappé la Science française et notre Académie.

\*  
\* \*

Frédéric Joliot fut un expérimentateur d'une extrême habileté, un esprit pénétrant qui savait apercevoir d'un seul coup d'œil le fait essentiel au sein de la complexité des apparences. Passionné de recherches, il fut lui-même un grand chercheur et un grand directeur de recherches. Il aima aussi l'enseignement et ses cours au Collège de France laisseront un grand souvenir à ceux qui les suivirent. Mais, plus soucieux de découvertes que de commentaires, il a surtout publié des mémoires et des notes plutôt que des exposés synthétiques: il n'a laissé derrière lui dans ce dernier domaine que quelques mises au point publiés dans les Actualités scientifiques et dans la Revue « Atomes » ou écrites à l'occasion de quelques congrès scientifiques.

Bien qu'essentiellement expérimentateur, il s'intéressait aussi beaucoup aux théories qui s'efforcent de représenter les faits dans le domaine atomique et nucléaire. Frappé de la difficulté qu'ont

souvent les physiciens de laboratoire à se mettre au courant de ces théories, il avait pris avec sa femme l'initiative de faire créer par le C. N. R. S. un Centre d'études des Mathématiques appliquées, qui, en publiant un formulaire et des monographies, doit s'efforcer d'établir une liaison entre théoriciens et expérimentateurs: il s'intéressait vivement à cet organisme et jusqu'à sa mort en assura, avec l'auteur de cette notice, la co-présidence.

Esprit généreux aux convictions ardentes, Frédéric Joliot fut dans tous les domaines un militant, ce qui l'entraîna souvent en dehors des régions sereines de la pure recherche scientifique. Qu'il me suffise de rappeler qu'auteur lui-même de quelques-unes des découvertes qui ont permis la libération de l'énergie atomique et conscient des dangers que pourrait faire courir à l'humanité l'emploi de cette formidable puissance nouvelle à des fins de destruction, il s'est associé avec chaleur et éloquence à toutes les propagandes en faveur du maintien de la paix entre les nations. Dans le domaine scientifique, son ardeur naturelle a fait de lui un grand animateur: on ne pouvait pas l'approcher sans ressentir la force de sa personnalité et sans subir l'action de son rayonnement intellectuel. Tous ceux qui l'ont connu, collègues ou élèves, garderont de lui pour cette raison un grand souvenir.

Il est intéressant de noter combien Joliot, esprit indépendant, avait conservé le sentiment de la valeur du travail individuel et de la liberté du chercheur. A la fin de juin 1958, six semaines avant sa mort, s'étant trouvé participer avec l'auteur de la présente Notice à une soutenance de thèse de Doctorat, il lui avait fait part en sortant de cette séance des inquiétudes qu'il éprouvait en présence de l'évolution actuelle de la recherche scientifique et de l'embrigadement progressif des chercheurs. Quelques jours plus tard, inaugurant un Congrès international de Physique nucléaire à la Maison de la Chimie, il exprimait son regret de voir peu à peu disparaître dans les immenses laboratoires-usines qu'utilise aujourd'hui la Physique nucléaire le « caractère artisanal de la Recherche si favorable à l'épanouissement de la personnalité. » Éprouvant la nostalgie du travail indépendant

qu'il avait lui-même si longtemps pratiqué dans de petits laboratoires, il s'exprimait ainsi: « Le chercheur, dont la mentalité, à mon avis, doit être assez semblable à celle d'un artiste, se sentait proche du phénomène étudié. L'observation était assez directe: le chercheur pouvait donner libre cours à son originalité créatrice... Parfois un coup d'aile, tel le poète, l'emportait vers la découverte » et mélancoliquement il concluait: « On ne peut faire œuvre originale à la chaîne ». Cette pathétique revendication des droits de la liberté de l'esprit et de la valeur de l'originalité individuelle, il n'est pas indifférent qu'elle ait été exprimée avec force, à la veille de sa mort, par notre illustre et regretté Confrère.

Au moment des disparitions si rapidement consécutives d'Irène, puis de Frédéric Joliot, nombreux sont ceux qui ont pensé que leurs morts prématurées étaient dues à l'action nocive des radiations auxquelles ils avaient été constamment exposés pendant toute leur vie de travailleurs de laboratoire et dont on ignorait encore à l'époque où, jeunes chercheurs, ils participaient à leur découverte, les dangereux effets physiologiques dont on ne cherchait pas suffisamment à se protéger. S'il en était ainsi, nous devrions placer Frédéric Joliot et sa femme au nombre de ceux qui ont donné leur vie pour la Science.

Messieurs,

Frédéric Joliot s'est trouvé ainsi associé par toute sa vie, et peut être même par sa mort, aux extraordinaires découvertes accomplies depuis trente ans par la Physique nucléaire.

Grâce au progrès des connaissances scientifiques si prodigieusement accéléré en notre XX<sup>me</sup> siècle, une ère nouvelle, qu'on a déjà appelée « l'ère atomique », a commencé pour l'humanité. Nous nous y engageons, remplis à la fois d'espérances et de craintes, ne sachant trop encore vers quoi nous marchons. A ce grand tournant de l'Histoire des hommes, le nom de Frédéric Joliot restera toujours attaché.

