

Le cinquantième anniversaire de la découverte de la radioactivité artificielle

par Eugène COTTON.

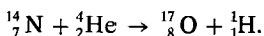
La radioactivité a été découverte en France en 1896 par Henri BECQUEREL mettant en évidence la radioactivité de l'uranium, puis par Pierre et Marie CURIE montrant, en 1898, que le radium est beaucoup plus radioactif que l'uranium et étudiant ce nouveau processus. Près de quarante ans plus tard, au tout début de 1934 (la publication a été présentée à la séance de l'Académie des Sciences du 15 janvier 1934), Frédéric JOLIOT et Irène JOLIOT-CURIE montrent que l'homme peut préparer des substances radioactives par bombardement d'éléments stables, par des particules lancées à grande vitesse. C'est la radioactivité artificielle (1).

Cherchons à nous représenter quel était l'état de la physique nucléaire en ce début de la décennie 1930-1940. Depuis sa découverte, la radioactivité naturelle avait été étudiée avec acharnement entre 1896 et 1914 essentiellement en France et au Royaume-Uni.

L'idée que la radioactivité était liée à l'existence et aux transformations, au cœur de l'atome, d'un noyau beaucoup plus petit et plus dense encore que lui, fut émise par Marie CURIE entre autres hypothèses dès 1901 ; Jean PERRIN avait eu la même idée mais c'est Ernest RUTHERFORD, physicien britannique né en Nouvelle-Zélande qui, reprenant le même schéma, le confirma avec ses élèves en 1911.

En 1919, la première réaction nucléaire provoquée par l'homme fut réalisée par RUTHERFORD alors au Cavendish Laboratory de Cambridge. Il s'agissait de la formation d'oxygène 17 par bombardement de l'azote par des particules alpha du polonium, avec émission de proton, ce que nous noterions aujourd'hui :

(1) On ferait mieux d'appeler ce processus radioactivité provoquée car les particules alpha des corps radioactifs naturels, les divers corpuscules du rayonnement cosmique peuvent provoquer de tels phénomènes sans l'intervention de l'homme.



C'était la première réaction nucléaire réalisant une transmutation rêvée par les alchimistes mais, naturellement, la quantité d'azote transformé en oxygène 17 était infime. L'ère des transformations volontaires du noyau dont l'existence se confirmait, commençait pourtant en cette année 1919. Il convient toutefois de noter que si les groupes de physiciens travaillant dans le domaine de la radioactivité étaient convaincus de cette réalité du noyau, l'ensemble des physiciens, presque tous enseignants des Universités n'avaient pas encore admis la réalité des atomes eux-mêmes et parlaient, dans leurs cours, de l'hypothèse atomique. Dans les années 20, la mécanique quantique s'élabora et, à peine née, permit déjà à GAMOW, CONDON et GURNEY, d'expliquer les périodes de la radioactivité alpha et de comprendre pourquoi une petite fraction de particules chargées, lancées à l'assaut d'un noyau dont la charge était également positive, traversait cette barrière de potentiel coulombien au lieu d'être, suivant la mécanique newtonienne, arrêtée et repoussée. Mais cette mécanique quantique resta de longues années sans être enseignée (comme d'ailleurs la relativité).

Le Laboratoire Curie (Institut du Radium) de Paris disposait de grandes quantités de corps radioactifs (radium et ses descendants notamment polonium), mais au cours des années 20, il se consacrait surtout à l'étude extensive des nombreux membres des familles radioactives et de leurs propriétés, de leurs désintégrations spontanées (2).

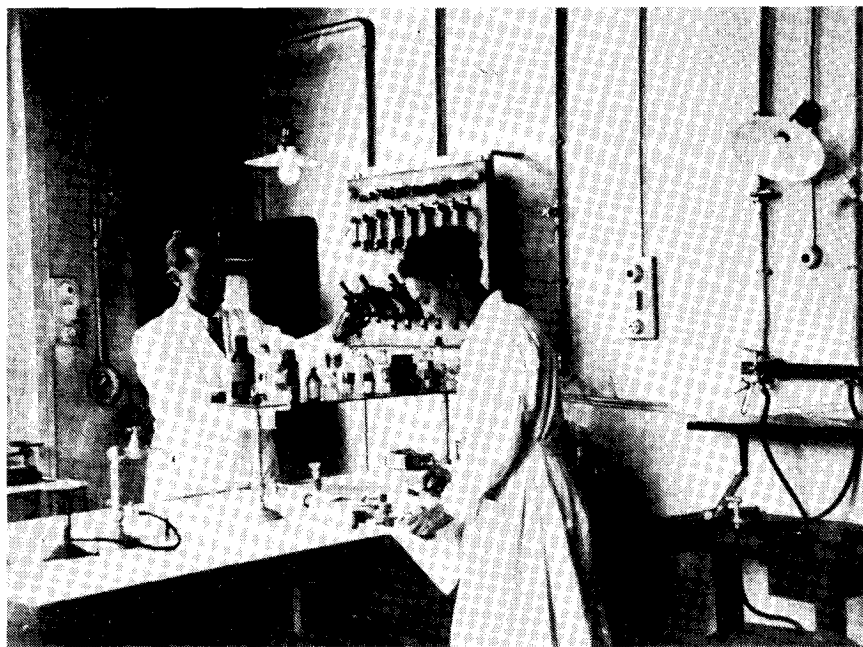
Le Laboratoire Cavendish, à Cambridge, dirigé par RUTHERFORD, était son principal concurrent. Ce directeur avait publié dès 1920 un article envisageant la possibilité d'existence d'une nouvelle particule, le neutron, conçue comme l'association neutre et très liée d'un proton et d'un électron. (Il envisageait également la possibilité d'association de deux protons avec un électron, ce qui correspondait à ce que nous appelons deuton ou deutéron (noyau de deutérium). Mais les expériences envisagées ne réunissaient pas les conditions suffisantes pour produire ces deux entités. L. RUTHERFORD cherchait aussi à accélérer sous des milliers de volts des protons, cependant, les possibilités de ces réalisations n'ont pas été obtenues assez vite. En dehors des deux grands Laboratoires cités, des travaux se poursuivaient notamment avec BOTHE en Allemagne, Lise MEITNER en Autriche et, surtout en

(2) Pourtant, une découverte importante sur le mécanisme fut faite par un physicien du Laboratoire Curie, Salomon ROSENBLUM : la structure fine énergétique des particules alpha révélant que le noyau final possède, comme les atomes, des états excités.

théorie, à Copenhague. Aux Etats-Unis également, plusieurs laboratoires commencèrent vers la fin des années 20.

On croyait, à cette époque, le noyau constitué de protons et d'électrons, ce qui impliquait des difficultés notamment en ce qui concerne la conservation du spin.

Vers 1930 en France, en dehors de l'Institut du Radium, d'autres groupes travaillaient à l'étude des processus nucléaires. Certains étaient en liaison assez étroite avec le Laboratoire Curie, je veux parler de Pierre AUGER travaillant avec quelques élèves au Laboratoire de l'Institut de Chimie - Physique dirigé par Jean PERRIN. Un autre Laboratoire situé dans un local indépendant de l'Université, rue Lord-Byron, était dirigé par Maurice DE BROGLIE (frère du théoricien Louis DE BROGLIE). Y travaillaient notamment J.-J. TRILLAT, Jean THIBAUD, Louis LEPRINCE-RINGUET. Ce Laboratoire fut le premier en France à utiliser des chambres d'ionisation à impulsions et des amplificateurs proportionnels déjà utilisés à Cambridge, alors qu'à l'Institut du Radium on travaillait avec la chambre de WILSON, la chambre d'ionisation avec électromètre et les compteurs de GEIGER-MULLER. Au



cours des années 30, la concurrence de ce Laboratoire était grande avec l'Institut du Radium et, si les découvertes les plus importantes furent effectuées au Laboratoire Curie, les publications complémentaires de la rue Lord-Byron complétèrent heureusement ces recherches. Pierre AUGER et Louis LEPRINCE-RINGUET s'orientèrent ensuite de plus en plus, comme on le sait, vers l'étude du rayonnement cosmique et de la physique de haute énergie qu'ils avaient déjà commencée.

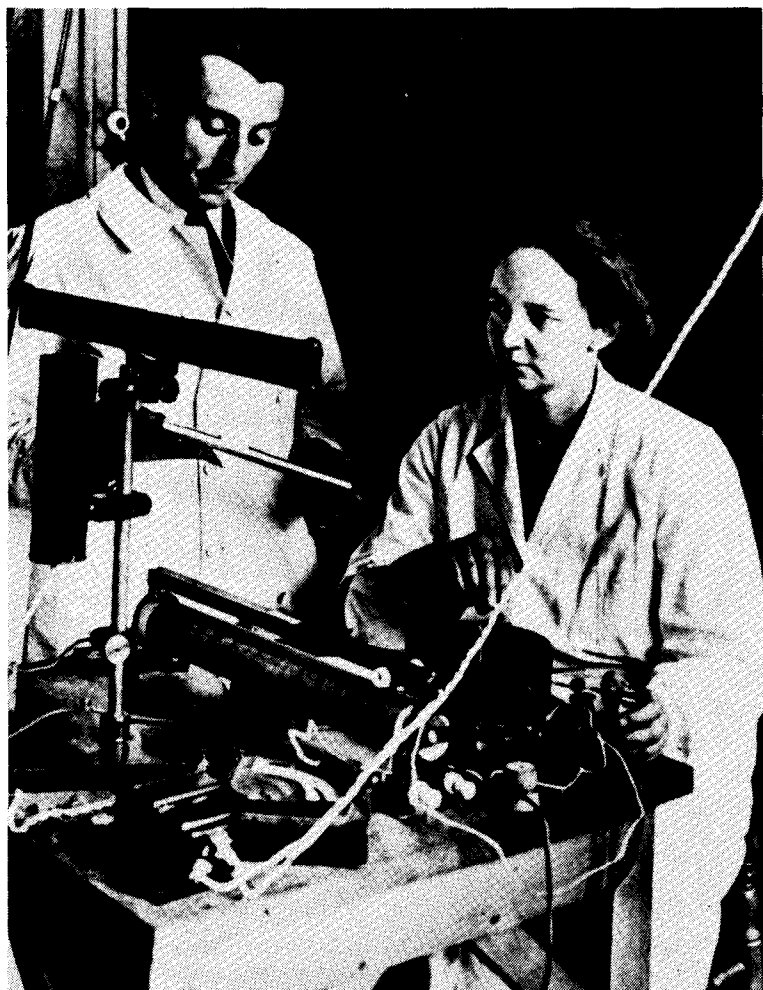
Nous en sommes donc déjà au début de la décennie 30-40 particulièrement riche de grandes découvertes en physique nucléaire dont celle que nous voulons particulièrement évoquer. Revenons à l'Institut du Radium : Frédéric JOLIOT, ancien élève de l'Ecole de Physique et Chimie, où il avait fait des études particulièrement brillantes sous la direction de Paul LANGEVIN, avait renoncé à l'industrie pour devenir, à 25 ans, sur recommandation chaleureuse du même professeur LANGEVIN, le préparateur particulier de Marie CURIE en 1925. Les recherches du Laboratoire étaient alors, comme nous l'avons vu, dans une phase d'approfondissement plus que de nouveauté, mais c'était excellent pour apprendre le métier et F. JOLIOT prépara avec ardeur et souci de la perfection expérimentale une thèse sur l'étude électrochimique des radioéléments qu'il présenta en 1930. C'est vers cette époque qu'un de ses anciens, André DEBIERNE semblait-il, lui dit à moitié sérieux (selon Pierre BIQUARD son ami, dont le petit livre bien utile pour mieux connaître F. JOLIOT est malheureusement épuisé) (3)... « que l'étude de la radioactivité était bien avancée et qu'il ne restait à préciser que les troisième et quatrième décimales des divers paramètres caractéristiques ! »

Marié en 1926 à Irène CURIE, fille aînée et assistante de Marie CURIE, et plus ancienne chercheuse que lui (4), F. JOLIOT commença, après sa thèse, à entreprendre avec elles certaines recherches. En particulier, des études sur le passage des rayons alpha au travers de la matière, très importantes pour bien utiliser ces projectiles nucléaires, les amenèrent à observer des phénomènes curieux.

De 1930 à 1932 se produisirent des expériences décisives pour la mise en évidence du neutron. Après les études de BOTHE et BECKER en 1930 découvrant un rayonnement nouveau produit en bombardant du béryllium par ces particules alpha du polo-

(3) F. JOLIOT-CURIE, Collection Les Savants du Monde entier. Seghers Paris.

(4) Notons que les physiciennes n'étaient pas nombreuses dans les laboratoires de Recherches à cette époque. Irène CURIE, mère en 1933 d'une petite Hélène de 5 ans et d'un petit Pierre d'un an, effectuait cependant d'intenses recherches.



nium et interprété d'abord comme étant un rayonnement gamma énergétique, puis celles de Frédéric et Irène JOLIOT-CURIE montrant que ce rayonnement projetait des protons lorsqu'il tombait sur une feuille mince hydrogénée ; CHADWICK en 1932 fit le dernier pas. Pour projeter des protons, il aurait fallu un rayonnement gamma de 50 MeV d'énergie environ et on ne voyait d'où tirer une telle énergie ; CHADWICK au Laboratoire de RUTHERFORD

reprit l'hypothèse de 1920 et identifia à un faisceau de particules neutres de même masse que le proton ce rayonnement nouveau : le neutron était découvert. Assez vite, on fut conduit à considérer les noyaux comme formés de neutrons et de protons. (Marie CURIE, dans un exposé d'ensemble aux Actualités scientifiques de Hermann paru en 1933, « Les Rayons alpha, bêta et gamma, corps radioactifs », où elle emploie encore les termes « hypothèse du neutron », écrit... « on doit peut-être considérer le neutron comme un élément de structure nucléaire à l'égal du proton ». Dans un autre fascicule des Actualités scientifiques de 1933, « Transmutations », Louis LEPRINCE-RINGUET parle de la découverte du neutron et de l'importance de la contribution française des JOLIOT-CURIE.

En même temps, ou presque, l'électron positif était découvert par ANDERSON dans le rayonnement cosmique (justifiant les prévisions théoriques de YUKAWA). Frédéric et Irène JOLIOT-CURIE, qui viennent de terminer la préparation d'une source alpha de polonium particulièrement intense et commencent à l'utiliser, retrouvent alors de tels électrons positifs dans des clichés de chambre de WILSON montrant des trajectoires de noyaux de recul projetés par neutrons et ils interprètent ces électrons comme dus à l'émission de paires $e^+ e^-$ causée par les gamma émis par la source de polonium.

Dans certains cas, ce phénomène appelé « matérialisation d'un photon » (5) peut se produire dans le champ du noyau émetteur. Cette matérialisation interne avait été observée par les JOLIOT-CURIE au cours de l'étude d'émission de e^+ par le béryllium bombardé par rayonnement alpha du polonium. La théorie de ce processus avait été faite peu après par OPPENHEIMER et NEDEL'SKY. Par contre, le bombardement du fluor, de l'aluminium, du sodium et du bore provoque également l'émission d'électrons positifs qui ne peuvent être interprétés de cette manière. Ces derniers furent appelés d'abord par Frédéric et Irène JOLIOT-CURIE « électrons de transmutation », (terme utilisé alors pour désigner les réactions nucléaires). La transmutation s'accompagnait d'émissions de protons (cas général) mais aussi parfois du couple neutron plus électron positif, le bilan énergétique correspondant bien à une masse de neutron égale à celle que CHADWICK et GOLDBABER avaient trouvée en utilisant la photodésintégration du deutérium qui venait aussi d'être découvert en 1932.

Ces expériences où apparaissaient des positons étaient déjà bien avancées lorsque eut lieu en octobre 1933 à Bruxelles le

(5) Appellation consacrée par l'usage mais impropre selon moi car un photon, même si sa masse au repos est nulle, c'est de la matière.

7^e Congrès International de Physique Solvay, intitulé Structure et Propriétés des Noyaux Atomiques. Cette instance internationale était fort importante à l'époque. Présidée par Paul LANGEVIN, cette réunion de 1933 voyait réunis Marie CURIE, RUTHERFORD, DIRAC, BLACKETT, Niels BOHR, P. DEBYE, EINSTEIN, COCKROFT, PEIERLS, E. FERMI, Louis DE BROGLIE, Frédéric et Irène JOLIOT-CURIE. Ces derniers y présentèrent les derniers résultats obtenus. Détaillons l'essentiel de leur intervention en leur laissant la parole :

« Une feuille d'aluminium de $1/10^{\text{e}}$ de millimètre ferme un orifice de 1,5 cm ménagé dans la paroi de la chambre d'un appareil Wilson, on place contre cette feuille une source de rayons alpha (20 millicuries de Po), couverte par un écran d'aluminium de $5/100^{\text{e}}$ de millimètre. Un champ magnétique de 350 gauss est établi parallèlement à l'axe du cylindre de la chambre. On observe des trajectoires d'électrons positifs et négatifs qui proviennent de la région où se trouve la source. Si l'on remplace la feuille d'aluminium couvrant la source par une mince feuille d'argent absorbant les rayons alpha, on n'observe plus que des électrons négatifs. Cela prouve que les électrons positifs ne proviennent pas du polonium, mais de l'aluminium absorbant les particules alpha... Nous pouvons donc conclure que l'émission de ces électrons positifs est liée à l'action des rayons alpha sur l'aluminium ».

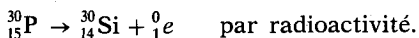
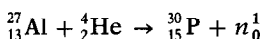
Ces résultats furent discutés avec passion. Certains expérimentateurs, comme Lise MEITNER, n'avaient pas observé de neutrons en effectuant des expériences similaires. (Mais elle apporta des corrections après la séance). Les jeunes (33 et 36 ans) physiciens furent ébranlés, mais l'intérêt pris à leurs travaux par de grands savants comme NIELS, BOHR et PAULI, les réconfortèrent.

(On peut remarquer aussi qu'au cours de la discussion à Bruxelles, Francis PERRIN avait évoqué la possibilité du passage par une radioactivité bêta plus, mais pensait à une vie très courte).

Le programme de travail fut réajusté et les expériences reprirent. Frédéric et Irène JOLIOT-CURIE cherchèrent à voir si l'émission du neutron et celle de l'électron positif (qu'ils pensaient être simultanées) se produisaient pour une même énergie des rayons alpha incidents. Ils eurent la surprise d'observer que, lorsqu'on diminue progressivement l'énergie des rayons alpha, il arrive que l'émission des neutrons cesse pour une vitesse minimale, tandis que celle des électrons positifs persiste. Et ils constatèrent que cette émission des positons décroît avec le temps. Ils reprirent l'expérience en éloignant complètement la source alpha et constatèrent alors l'existence d'une décroissance exponentielle du nombre d'électrons positifs comme dans le cas

d'une émission radioactive. Alors, tout s'éclaire : la feuille d'aluminium émet un rayonnement e^+ avec une période de 3 mn 15 s.

Le processus devait être :



(Aujourd'hui, on ajoute + neutrino).

Ce résultat important repris et revérifié fut présenté à la Séance de l'Académie des Sciences du 15 janvier 1934, seulement quelques jours après la découverte, dans une note présentée par Jean PERRIN (6). Résultat doublement important : c'est la première radioactivité induite mise en évidence et c'est le premier exemple de radioactivité bêta plus. (On vérifia assez vite que le spectre d'énergie de ces électrons positifs est continu comme dans le cas de la radioactivité bêta moins). Leur grande maîtrise de la chimie des corps radioactifs permit aux JOLIOT-CURIE, moins de deux mois plus tard, grâce à l'émission des électrons, de faire la preuve de la nature chimique des éléments formés (phosphore dans le cas de l'aluminium).

Les savants furent vite convaincus et Lord RUTHERFORD envoya ses chaleureuses félicitations aux auteurs de cette découverte. Son retentissement fut considérable. En physique nucléaire, elle complétait celle de l'existence du neutron élargissant le cadre des réactions nucléaires alors appelées transmutations. Le neutron devenait vraiment objet habituel un peu symétrique du proton. La source alpha intense de polonium préparée grâce au stock important de radium du Laboratoire Curie et à l'opiniâtreté et au courage des JOLIOT-CURIE (la manipulation de ces substances radioactives était dangereuse et Irène a certainement vu sa santé éprouvée) trouvait sa justification.

Et LAWRENCE, en Californie, dont le premier cyclotron fonctionnait depuis plus d'un an, comprit tout de suite, lorsqu'il reçut le numéro des Comptes rendus de l'Académie des Sciences contenant la note des JOLIOT-CURIE évoquant la possibilité d'utiliser des deutérons, que les faisceaux intenses des deutérons du cyclotron devaient créer des quantités de corps radioactifs beaucoup plus grandes que dans les expériences des JOLIOT-CURIE, ce qu'il vérifia avec MAC MILLAN (cité par ce dernier).

La consécration officielle de la découverte suivit très vite. Le Congrès International de Londres en 1934 confirma le suc-

(6) Le petit livre de BIQUARD donne des détails sur les expériences décisives.

cès et dès 1935 Frédéric et Irène JOLIOT-CURIE reçurent le Prix Nobel de Chimie. Frédéric JOLIOT-CURIE fut nommé professeur au Collège de France. Avec Irène, il se consacra, comme on le sait, à de nouvelles recherches. Avec SAVITCH, Irène CURIE obtint des résultats liés à l'existence de la fission nucléaire et Frédéric JOLIOT, avec F. PERRIN, H. HALBAN et L. KOWARSKI, établit le premier la possibilité de la réaction en chaîne divergente, base de la production massive d'énergie nucléaire.

L'existence des atomes fut admise alors par l'ensemble des physiciens face à tout ce faisceau de découvertes sur les noyaux et leurs transformations. Cette réalité des atomes et des noyaux fut enseignée avant la relativité et la mécanique quantique, théories auxquelles la physique nucléaire apportait pourtant de magnifiques vérifications expérimentales (Notamment : variation de la masse de l'électron avec sa vitesse pour la relativité, transparence des barrières de potentiel pour la mécanique quantique).

Pour en venir aux applications de la radioactivité artificielle en physique nucléaire, elles furent très nombreuses. Les cases du tableau des espèces nucléaires étaient brusquement augmentées potentiellement : de quelque deux cents nucléides stables connus et d'une petite centaine d'éléments des familles radioactives naturelles on passait à des milliers de cases possibles qui se sont vues, petit à petit, remplies de 1934 à nos jours et continuent à se remplir. De là, de meilleures connaissances des lois de la radioactivité, des indicateurs nucléaires. La notion de particule de base (pour ne pas dire fondamentale) apparaît avec le neutron dont la masse fut vite trouvée plus forte que celle du proton. Les recherches de nouveaux corps radioactifs de masse lourde conduisirent à la découverte des transuraniens associée à celle de la fission de l'uranium. Depuis, les formes de radioactivité furent multiples : capture K, neutrons différés, protons différés...

En même temps, la quasi identité des réactions chimiques subies par des éléments stables et radioactifs ont permis la technique du *marquage* d'une substance par un traceur radioactif isotope d'un des composés iode par exemple, technique permettant de suivre les déplacements de l'élément chimique et également de fixer la radioactivité là où elle se fixe. On connaît le succès de cette méthode dans l'industrie, en biologie et en médecine, aussi bien pour le diagnostic que pour le traitement des cancers notamment. Combien de vies humaines ont-elles été sauvées ainsi !

Le marquage a été et est toujours appliqué en métallurgie, en hydrologie, en criminologie (arsenic) et dans bien d'autres domaines encore.

Le succès des chercheurs français a été facilité par les développements, dès 1928 puis en 1933, des moyens mis à la disposition de la Recherche grâce aux efforts de Jean PERRIN auprès des Pouvoirs Publics, avec le développement de la Caisse Nationale des Sciences qui deviendra, lors du Front Populaire, le C.N.R.S. Des chercheurs purent être rétribués à temps plein, ce qui n'existait pas encore dans les pays anglo-saxons. Frédéric JOLIOT qui percevait, comme préparateur de Marie CURIE, cinq cents francs par mois (d'après les tables de l'I.N.S.E.E., cela représente 1 100,00 francs actuels !) avait obtenu en 1930 un de ces postes de chercheurs. Sans doute, quelques laboratoires seulement se partageaient-ils ces subsides, mais quelques étrangers de valeur purent également être invités, tels GENTNER et SAVITCH qui collaborèrent à certaines expériences de Frédéric et Irène JOLIOT-CURIE.

Cette période 1930-1934 illustre bien le rôle déterminant joué par les physiciens européens, théoriciens, surtout en Allemagne et au Danemark, expérimentateurs en France, Angleterre et Allemagne, puis en Italie, dans ce prodigieux développement de la physique nucléaire. C'est une situation que les jeunes ont du mal à concevoir aujourd'hui.

Comme l'a bien montré Spencer WEART, le développement se prolongea jusqu'en 1939 et permit de découvrir la fission du noyau et ses applications merveilleuses et bénéfiques d'une part, terrifiantes de l'autre. Les physiciens américains démarrèrent surtout vers 1935 grâce aux accélérateurs heureusement prévus avant et à l'arrivée massive des physiciens fuyant le nazisme, c'est l'Europe qui prit alors du retard. Le rôle joué à cette époque par Frédéric JOLIOT et Irène CURIE demeure déterminant.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

P. RADSANYI et M. BORDRY. — *Radioactivité artificielle*. (Editions du Seuil, collection Points Sciences).

P. BIQUARD. — *Frédéric Joliot*. (Collection Les Savants du Monde entier - Ed. P. Seghers, épuisé).

Eugénie COTTON. — *Les Curie et la radioactivité*. (Les Savants du Monde entier - Ed. P. Seghers, épuisé).

S.-P. WEART. — *La grande aventure des atomistes français* (Fayard).

Textes originaux ; voir : Frédéric et Irène JOLIOT-CURIE. — *Œuvres complètes* (Ed. du C.N.R.S.).
