

preparations. It is perhaps too early yet to assess the value of these materials in medicine, but one interesting feature of the experiments is worthy of mention. It has been reported to the writer (Dr. G. TAYLEUR STOCKINGS, private communication) that hashish shows certain effects in man which are not produced by the synthetic materials examined. This is perhaps not surprising when one remembers that the exact relationship between corneal areflexia in rabbits, ataxia in dogs and hashish activity in man has not been established¹, and that the tetrahydrocannabinol fraction represents only a small proportion of the hemp resin. Such findings do, however, emphasize that,

¹ LOEWE, J. Pharmacol. 84, 78 (1945).

although substantial progress has been made in the chemical investigation of hashish, more remains to be done before the problem presented by this remarkable drug can be regarded as completely solved.

Zusammenfassung

Der Autor referiert über die frühere chemische Bearbeitung des Haschischproblems, wobei namentlich die Arbeiten von CAHN (bis 1933) wichtig sind. Die beiden Substanzen Cannabinol und Cannabidiol aus Haschisch sind inaktiv, der Träger der physiologischen Wirkung konnte noch nicht rein dargestellt werden. Synthetische Tetrahydrocannabinole zeigen zum Teil starke Haschischwirkung. Der Autor vermutet, daß die Struktur des natürlichen Wirkungsträgers ähnlich sein wird wie diejenige der aktiven synthetischen Produkte.

L'énergie atomique

Par M. F. JOLIOT-CURIE, Paris

C'est une tâche bien délicate et une lourde responsabilité d'écrire en un bref exposé un sujet déjà si vaste: la libération de l'énergie atomique. Hélas! c'est par le fracas de l'explosion de Hiroshima que cette nouvelle conquête de la science nous fut révélée. En dépit de cette apparition terrifiante, je suis convaincu que cette conquête apportera aux hommes plus de bien que de mal.

Il ne se passe peut-être pas de jour sans que dans les conversations, dans la presse, il ne soit question de la bombe atomique. Une grande excitation règne dans le monde. L'inquiétude s'est emparée de chacun, entretenue par des articles de presse, d'ailleurs souvent fantaisistes, et il faut le reconnaître par les mesures de secret maintenues par les nations réalisatrices. Il est vrai que le président TRUMAN et les savants, en particulier en France, ont déclaré que les découvertes, grâce auxquelles fut réalisée cette arme redoutable, permettaient aussi de libérer, à des fins bienfaisantes, l'immense réserve d'énergie contenue dans les atomes. Enfin notre connaissance déjà profonde de la matière nous permet de conclure que le phénomène explosif dont les éléments de la bombe sont le siège, ne peut se propager aux autres éléments de la planète. Voilà qui est rassurant!

Utilisation à des fins bienfaisantes, sécurité pour le sort de notre planète, tout cela doit concourir à calmer notre inquiétude et nous donner l'espérance d'une nouvelle et rapide libération matérielle, condition nécessaire de notre libération spirituelle. Ce double aspect des applications de la science n'est pas particulier aux domaines qui nous préoccupent aujourd'hui. Les explosifs ordinaires déjà très puissants sont égale-

ment utilisés pour les œuvres de paix et pour la guerre. La biologie pourrait aussi nous fournir des exemples.

Je pense que la grande inquiétude créée par l'apparition de la bombe atomique ne peut que provoquer un grand courant d'idées et de réalisations en faveur d'une bonne utilisation de la science. La pire des catastrophes serait pour l'humanité d'arrêter le développement de la science, rendant celle-ci responsable des guerres et des troubles économiques et d'autres maux encore. La nature elle-même, si de telles mesures étaient prises, se chargerait tôt ou tard de nous faire cruellement sentir cette erreur.

Je voudrais maintenant tenter de retracer les principales étapes des recherches qui ont conduit aux réalisations qui nous intéressent aujourd'hui.

Les cinquante dernières années ont vu l'éclosion de nombreuses découvertes qui nous ont permis d'acquérir une connaissance profonde de la matière. Il faut remonter à la fin du siècle dernier pour voir bouleverser le dogme de l'immutabilité des atomes par les découvertes fondamentales de la radio-activité par HENRI BEQUEREL et les radio-éléments par PIERRE et MARIE CURIE. Certains éléments chimiques comme l'uranium, le radium, se transforment spontanément au cours du temps en d'autres éléments chimiques en libérant de l'énergie emportée par des rayonnements corpusculaires ou semblables aux rayons X. Les radio-éléments sont des sources d'énergie, mais pratiquement inutilisables en raison de leur très faible débit. Quatre cents grammes d'uranium sont équivalents à 160 tonnes de charbon, mais le débit de chaleur dû aux désintégrations des atomes d'uranium est si faible qu'il faudrait attendre quelques milliards d'années

pour obtenir le total d'énergie équivalent à la combustion des 160 tonnes de charbon! Toutefois il est à noter que l'ensemble des radio-éléments naturels dispersés sur notre globe intervient dans le problème des conditions thermiques de la terre.

Ces premiers phénomènes remarquables et les anticipations immédiates dont ils ont été l'objet ont sans doute provoqué une émotion assez semblable à la nôtre à l'annonce de la bombe atomique.

L'emploi judicieux des projectiles émis par les radio-éléments a permis d'abord au savant anglais RUTHERFORD et ensuite à de nombreux chercheurs de définir la structure des atomes et, résultat prodigieusement intéressant, de provoquer artificiellement la transmutation d'éléments chimiques.

Aussi fut créée une chimie des noyaux qui comme la chimie ordinaire des atomes, nécessite le contact intime des réactifs. Le projectile, noyau de l'atome d'hélium émis par un radio-élément naturel, rencontre un noyau d'azote cible et le transforme en noyau d'oxygène tandis qu'un proton du noyau composé est expulsé.

Suivant les cas, de l'énergie est libérée ou absorbée par le processus et l'origine de cette énergie est due à transformation de la matière en énergie ou réciproquement. EINSTEIN et LANGEVIN ont précisé la loi reliant quantitativement masse et énergie dans ces phénomènes dits de matérialisation ou de dématérialisation. Ces phénomènes nucléaires mettent en jeu des énergies des millions, parfois des milliards de fois plus élevées que les phénomènes de la chimie atomique.

Les constituants des noyaux atomiques sont les neutrons et les protons. Autour du noyau minuscule, édifice central, se trouvent distribuées les charges des électrons jusqu'à des distances 100 000 fois plus grandes que le diamètre du noyau.

C'est à partir de 1932 que furent découverts les particules élémentaires, neutrons, électrons positifs, et en 1934 la radio-activité artificielle. La physique française prit une part importante à ces découvertes, en particulier celle de la radio-activité artificielle lui est entièrement due. Jusqu'en 1934 on pensait que les éléments formés dans toutes les transmutations étaient atomes stables existant dans la nature. Mme JOLIOT-CURIE et moi-même nous avons pu montrer que certaines transmutations produisaient des atomes nouveaux radio-actifs n'existant plus sur la terre. Très rapidement après cette découverte, des centaines de radio-éléments artificiels furent créés dans les laboratoires du monde entier et beaucoup d'entre eux ont déjà été utilisés pour étudier divers problèmes de la biologie. L'on peut prévoir qu'ils seront tôt ou tard employés en médecine. Jusqu'en 1941 les quantités d'éléments radio-actifs ou non formés par transmutation étaient extrêmement faibles, impondérables même en utilisant les techniques nouvelles de préparation des faisceaux de projectiles transmutants intenses.

L'énergie libérée par les rayonnements émis est, comme dans le cas des radio-éléments naturels, pratiquement inutilisable.

Toutefois, ici encore, ces réactions sont envisagées dans le domaine de l'astrophysique pour expliquer les températures des étoiles et leur évolution.

Aussitôt après l'annonce de la découverte de la radio-activité artificielle, FERMI, utilisant les projectiles transmutants neutrons pour bombarder l'uranium, obtint une série de radio-éléments artificiels qu'il crut être tous des transuraniens. Des éléments étaient créés, prolongeant la série des éléments connus s'arrêtant jusqu'alors à l'élément uranium dont le noyau est le plus riche en protons. Mais IRÈNE CURIE et SAVITCH d'une part, HAHN et STRASSMAN d'autre part, remarquèrent des singularités dans les propriétés chimiques des radio-éléments formés. HAHN et STRASSMAN, en Allemagne, pour interpréter leurs résultats, é mirent fin 1938 l'idée importante que le noyau de l'atome d'uranium entrant en collision avec un neutron pouvait se briser en deux fragments radio-actifs. Aussitôt après, moi-même en France, FRISCH et LISE MEITNER au Danemark, donnèrent indépendamment la preuve objective de cette fragmentation et montrèrent que le phénomène donnait lieu à un dégagement d'énergie considérable à l'échelle atomique environ cent fois supérieure à l'énergie libérée dans les radio-activités ou transmutations, toutefois encore minime à l'échelle humaine. Je signalais dans la note que je publiais en janvier 1939 à l'Académie des sciences que la fragmentation devait être accompagnée de l'émission de neutrons. C'était là une remarque importante qui devait être une des origines des expériences qui ont conduit aux résultats que l'on connaît maintenant. A cette époque le grand physicien danois NIELS BOHR publia une théorie du phénomène de la rupture des noyaux d'uranium.

Avec mes élèves HALBAN et KOWARSKI nous avons entrepris en mai 1939 des expériences qui montrèrent qu'en moyenne environ trois neutrons sont émis lors de chaque fragmentation. D'où l'idée simple suivante: un projectile neutron provoque une première rupture d'un noyau d'uranium dans une grande masse de ce métal, trois neutrons sont émis, projectiles de même nature que le projectile incident. Si plus d'un de ces neutrons provoque à son tour une nouvelle rupture d'un autre noyau d'uranium, on conçoit que les ruptures se propageront dans la masse, leur nombre croissant en progression géométrique. Il s'établit ainsi un processus de réactions nucléaires en chaîne explosive, une véritable épidémie. Les énergies libérées lors des ruptures s'ajoutent et donnent une énergie totale prodigieuse. Plus les projectiles neutrons sont lents, plus ils ont des chances de provoquer des ruptures. Pour ralentir les neutrons, on introduit dans la masse d'uranium des blocs de substances constituées d'atomes légers, contre lesquels les neutrons perdent leur vitesse

sans être capturés, comme des billes de billard se rencontrant. En définitive, une grande masse d'uranium pur dans laquelle sont convenablement disposés des blocs ralentisseurs de neutrons constitue une machine telle qu'un premier neutron s'y arrêtant déclenche la réaction explosive. Pour diminuer la masse d'uranium on ajoute à celle-ci une certaine quantité d'éléments lourds spécialement préparés qui favorisent l'explosion. L'équipe française de chercheurs trouva le principe de freinage permettant d'arrêter le développement des réactions avant l'explosion en vue de l'utilisation pratique de la chaleur dégagée dans la masse. Il suffit, à cet effet, d'introduire périodiquement dans la machine des lames de matière absorbant les neutrons. Notre équipe à laquelle s'était jointe FRANCIS PERRIN, entreprit des expériences et des calculs théoriques qui permirent de vérifier le bien-fondé des principes ci-dessus. Des matériaux précieux accumulés avant la guerre et pendant la guerre, grâce au Ministère de l'armement et à l'action personnelle de M. DAUTRY, permirent de construire des éléments de machine à uranium et donnèrent la certitude de la possibilité de fonctionnement pratique et des brevets furent pris par les inventeurs au nom du Centre national de la Recherche scientifique, organisme d'état.

Lors de l'effondrement militaire, HALBAN et KOWARSKI, d'accord avec moi, quittaient la France munis d'ordre de mission du Ministère de l'armement pour se rendre en Angleterre. Je leur confiai les documents et le stock du produit le plus précieux dont j'avais la responsabilité. Il est à noter que ce produit avait pu être obtenu pendant les hostilités grâce à l'action intelligente et courageuse de plusieurs officiers, envoyés en mission spéciale par le Ministère de l'armement.

C'est à l'aide de ce produit que les réalisations ont pu être continuées en Angleterre par HALBAN et KOWARSKI auxquels se sont associés des savants anglais. Ce n'est que beaucoup plus tard que les Américains entreprirent les fabrications à une échelle gigantesque, ce qui leur a permis d'obtenir les résultats actuellement connus.

On savait déjà en 1940 que parmi les atomes de masse différente qui constituent l'élément chimique uranium, c'était celui contenant 235 particules qui était le plus efficace et qui, si l'on réussissait à le séparer de l'ensemble, serait susceptible d'être employé pour réaliser une bombe explosive d'une puissance prodigieuse. On pouvait calculer qu'elle serait équivalente à des dizaines de milliers de tonnes des explosifs les plus puissants. Enfin, on avait précisé la puissance considérable des machines dans lesquelles on procéderait au contrôle de la libération de l'énergie.

Ce sont sur ces principes que les équipes anglaises puis américaines réalisèrent d'une part les machines, d'autre part les bombes à uranium 235, l'état de guerre

les orientant à concentrer principalement leurs efforts vers cette dernière application.

Nous ne pouvons nous empêcher d'admirer l'effort de recherche et de construction qui a été fait par les Américains, ainsi que la valeur des savants et techniciens réalisateurs. Les chiffres suivants sont évocateurs de cet effort. L'un des centres occupe une surface de 500 kilomètres carrés et est entouré d'une zone contrôlée de 10000 kilomètres carrés; 100000 ouvriers et techniciens y travaillèrent. Au total une somme de 100 à 200 milliards de francs a été nécessaire au financement du programme. Mais le seul résultat n'est pas la réalisation des bombes; des machines ou piles, sources puissantes d'énergie ont été construites. Dans ces machines se trouvent concentrés les éléments formés par les fragmentations des atomes d'uranium. Le rayonnement prodigieux de neutrons dont elles sont le siège transforme une partie des atomes d'uranium par simple capture de neutrons en transuraniens — comme le neptunium et le plutonium, ce dernier étant un élément avec lequel on peut réaliser des bombes. Ce sont des kilogrammes d'éléments nouveaux que l'on peut séparer de l'uranium ayant servi dans les machines. Sans doute c'est par l'utilisation de ces radio-éléments que seront obtenues les applications les plus fécondes et qui auront en outre pour conséquence d'abaisser le prix de revient du kilowatt libéré. Notre imagination nous permet déjà d'envisager de nombreuses applications pacifiques (chimie, biologie, médecine), des machines et même des bombes, transformation du profil des terrains, création artificielle des pluies, etc.

Les savants sont conscients de leur responsabilité pour ces applications et ils préfèrent envisager leur aspect pacifique plutôt que leur aspect militaire. Ils sont contre les mesures de secret qui ne peuvent que conduire à une course aux armements scientifiques, à une guerre plus meurtrière encore. C'est pourquoi ils demandent à intervenir dans les discussions concernant ces questions dans leur pays et entre les nations.

En France, nous pouvons faire l'effort nécessaire pour construire les machines et apporter notre contribution aux progrès industriels qu'elles permettent. Le général DE GAULLE a fait créer un commissariat spécial à l'énergie atomique qui pourra, grâce aux savants et techniciens dont dispose notre pays, et en particulier aux professeurs PIERRE AUGER, FRANCIS PERRIN, nous permettre de rattraper le retard et d'obtenir des résultats nouveaux. Tout cela doit concourir à faire participer la France aux discussions internationales sur ces questions.

En attendant nous travaillons avec ardeur, nous aurons la satisfaction de contribuer à la renaissance de notre patrie en conservant l'espoir que bientôt avec les savants des autres pays nous participerons de toutes nos forces au maintien de la paix dans le monde.