

COMPLÉMENT DU RAPPORT DE M. COMPTON AU CINQUIÈME CONGRÈS DU CONSEIL DE PHYSIQUE*

Dans son très intéressant rapport, M. le Professeur Compton s'est attaché à mettre en évidence les raisons qui conduisent à adopter la théorie de choc entre un quantum et un électron libre. Il me paraît utile de signaler, dans le même ordre d'idées, les deux points de vue suivants:

1° L'existence d'électrons de choc semble jouer un rôle fondamental dans les effets biologiques produits sur les tissus vivants par les radiations de très haute fréquence, telles que les rayons γ les plus pénétrants émis par les radioéléments. Si l'on admet que l'effet biologique est attribuable à l'ionisation produite dans les cellules soumises à la radiation, cet effet ne peut dépendre des rayons γ directement, mais se trouve déterminé par l'émission de rayons β secondaires qui accompagne le passage des rayons γ au travers de la matière. Avant la découverte des électrons de choc, on ne connaissait pour ces rayons secondaires qu'un seul mode de production, celui qui consiste dans l'absorption totale d'un quantum de radiation dans l'atome, avec émission d'un photo-électron. Le coefficient d'absorption τ relatif à ce processus varie avec la longueur d'onde λ de la radiation γ primaire, ainsi qu'avec la densité de la matière absorbante et le nombre atomique N des atomes qui la composent, suivant la relation bien connue de Bragg et Peirce $\frac{\tau}{\rho} = AN^3\lambda^3$, où A est un coefficient qui conserve une valeur fixe pour les fréquences supérieures à celle de la discontinuité K . S'il est permis d'appliquer aux rayons γ de haute fréquence cette relation valable dans le domaine des rayons X , la valeur de $\frac{\tau}{\rho}$ qui en résulte pour les éléments légers est si faible que l'émission de photo-électrons paraît hors d'état d'expliquer les effets biologiques de la radiation sur les tissus vivants traversés¹.

* [Solvay, Bruxelles 1927, vol. „Electrons et photons", Paris 1928 — ed.].

¹ Il est vrai que plusieurs auteurs ont contesté récemment la légitimité de l'extension aux rayons γ de la loi d'absorption de Bragg et Pierce.

Tout autre est l'aspect de la question si l'on prend en considération l'émission d'électrons de choc dans ces tissus, suivant la théorie de Compton. Pour un faisceau primaire canalisé de rayons γ , la fraction d'énergie électromagnétique, convertie en énergie cinétique des électrons par unité de masse de la matière absorbante, est donnée par le coefficient

$$\frac{\sigma_a}{\rho} = \frac{\alpha}{(1 + 2\alpha)^2} \frac{\sigma_0}{\rho},$$

où $\frac{\sigma_0}{\rho}$ est le coefficient de diffusion [massique valable pour les rayons X de fréquence moyenne, selon la théorie de J. J. Thomson, et voisin de 0,2, tandis que α est le paramètre de Compton $\alpha = \frac{h\nu}{mc^2}$ (h constante de Planck, ν fréquence primaire, m masse de repos de l'électron, c vitesse de la lumière). Prenant $\alpha = 1,2$, valeur qui convient à un groupe important de rayons γ (potentiel équivalent 610 kilovolts), on trouve $\frac{\sigma_a}{\rho} = 0,02$, soit 2 pour 100 de l'énergie primaire convertie en énergie électronique par unité de masse de matière absorbante, d'où une possibilité d'interprétation des effets biologiques observés. A cette production directe d'électrons de choc sur le trajet du faisceau primaire s'ajoute, dans un milieu étendu, une production supplémentaire, du fait qu'à chacun de ces électrons correspond un quantum diffusé, de valeur inférieure au quantum primaire, et que ce quantum diffusé peut, à son tour, subir l'effet Compton dans le milieu où il se propage, avec une production d'un électron de choc nouveau et d'un quantum encore moindre. Ce processus renouvelable à volonté et nommé « effet Compton multiple » semble avoir été observé effectivement par certains auteurs¹. Non seulement le nombre d'électrons de choc est par là multiplié, mais, de plus, le quantum primaire, réduit par des chocs successifs, prend des valeurs pour lesquelles l'absorption avec émission de photo-électrons devient de plus en plus probable.

Ces faits ont une répercussion importante sur la technique de la Roentgenthérapie. Certains auteurs avaient, en effet, mis en doute l'utilité de produire des appareils à très haut voltage fournissant des rayons X de très haute fréquence et de très grand pouvoir pénétrant, dont l'emploi est, par ailleurs, favorable en raison de l'uniformité d'irradiation qu'ils permettent d'atteindre. Si ces rayons devaient être dépourvus d'efficacité, il aurait fallu renoncer à leur emploi. Tel n'est pas le cas si l'on se place au point de vue de l'effet Compton, et il est alors légitime de diriger la technique vers l'emploi de haut voltage.

¹ R a j e w s k y, *Fortschritte auf dem Gebiet der Roentgenstrahlung*, t. 35, 1926, p. 262.

Un autre point de vue intéressant à examiner est celui de l'émission de rayons β par les corps radioactifs. M. le Professeur Compton a fait remarquer que parmi les rayons β d'origine secondaire, certains pouvaient être des électrons de choc produits par la diffusion des rayons γ primaires sur les électrons contenus dans la matière qu'ils traversent.

C'est dans un effet de ce genre que Thibaud pense trouver l'explication de l'aspect des spectres magnétiques des rayons γ secondaires. Ces spectres se composent de raies attribuables à des groupes de photo-électrons de même vitesse, dont chacun est émis par absorption dans une enveloppe métallique mince d'un groupe de rayons γ homogènes émis par un radioélément contenu dans cette enveloppe. Chaque raie d'origine photo-électrique est accompagnée d'une bande débutant à la raie même et se prolongeant vers la région des vitesses faibles. Thibaud pense que cette bande pourrait provenir de photo-électrons extraits de l'écran par ceux des rayons γ qui, dans ce même écran, auraient subi l'effet Compton avec réduction de fréquence. Cette interprétation paraît plausible; toutefois, pour l'établir, il serait nécessaire de soumettre à l'étude la structure de la bande et de trouver dans le même spectre la bande attribuable aux électrons de choc correspondant aux rayons γ diffusés.

Un problème analogue se pose au sujet de l'émission de rayons β par les corps radioactifs sous épaisseur négligeable, de manière à éliminer, autant que possible, les effets secondaires provenant des supports et des enveloppes. On observe alors un spectre magnétique attribuable au radioélément seul et se composant, soit d'une bande continue, soit de la superposition d'un spectre continu et d'un spectre de lignes. Ce dernier a reçu une interprétation satisfaisante par des travaux récents (L. Meitner, Ellis, Thibaud, etc.).

Une ligne est due à un groupe de photo-électrons de même vitesse extraits des niveaux des atomes radioactifs par un groupe de rayons γ homogènes produits dans leurs noyaux. Cet effet se nomme «conversion interne», car on suppose que le quantum émis par un noyau d'atome est réabsorbé dans l'enveloppe électronique du même atome. La grande majorité des lignes observées trouvent leur explication dans cette hypothèse.

L'interprétation du spectre continu paraît offrir plus de difficultés. Certains auteurs l'attribuent uniquement aux rayons β primaires, alors que d'autres envisagent la possibilité d'une origine secondaire et invoquent l'effet Compton comme une cause possible de sa production (L. Meitner). Il s'agirait ici d'un effet Compton «interne», de telle sorte qu'un rayon γ issu du noyau d'un atome subirait un choc sur un des électrons faiblement liés à la périphérie du même atome. S'il en était ainsi, la distribution des vitesses des électrons de choc émis n'est pas quelconque, mais doit être conforme aux prévisions de la théorie de Compton.

J'ai examiné de près ce problème qui se présente sous un aspect très complexe¹. Chaque groupe de rayons γ homogènes est accompagné de rayons γ diffusés, de sorte que dans le spectre de diffraction des rayons γ , chaque ligne devrait subir un élargissement de 0,0485 unités Å. Les expériences sur la diffraction des rayons γ sont difficiles et peu nombreuses; jusqu'ici l'effet d'élargissement n'a pas été signalé.

A chaque groupe homogène de rayons γ doit correspondre un groupe d'électrons de choc dont la vitesse varie d'une façon continue depuis zéro jusqu'à une limite supérieure déduite de la théorie de Compton, et auquel correspond dans le spectre magnétique une bande nettement limitée du côté des grandes vitesses. Au même groupe de rayons γ peuvent correspondre en outre des groupes de photo-électrons extraits des divers niveaux K, L, etc. de l'atome par absorption interne des rayons γ diffusés. Pour chaque groupe de photo-électrons, la vitesse d'émission est comprise entre deux limites déterminées. La limite supérieure correspond à l'excès de l'énergie des rayons γ primaires sur le travail d'extraction W qui caractérise le niveau considéré; la limite inférieure correspond à l'excès, sur ce même travail W , de l'énergie des rayons γ diffusés dans la direction opposée à celle des rayons primaires, et ayant subi, à cause de cela, la perte de fréquence la plus élevée. Dans le spectre magnétique, chaque groupe de photo-électrons sera représenté par une bande limitée aussi bien du côté des grandes que des petites vitesses, avec le même écart des énergies extrêmes pour chaque bande.

Il est facile de voir que les diverses bandes relatives dans un même spectre magnétique, à un même groupe de rayons γ peuvent se superposer partiellement, d'où une difficulté pour faire l'analyse du spectre en comparant la distribution des rayons β à celle que prévoit la théorie. Quand il s'agit de substances émettant plusieurs groupes de rayons γ , la difficulté doit devenir considérable, à moins qu'il n'existe de grandes différences dans leur efficacité relative pour la production de l'effet cherché. Remarquons encore que le spectre continu dû à l'effet Compton peut se trouver superposé à un spectre continu indépendant de cet effet (attribuable par exemple aux rayons β primaires).

L'examen des données expérimentales jusqu'ici disponibles ne permet pas encore de conclure d'une manière convaincante. La plupart des spectres sont très complexes et leur étude précise, en ce qui concerne la distribution des énergies des rayons β , demandera un travail très approfondi. Dans certains spectres simples tels que celui des rayons β du RaD, on observe des raies d'origine photo-électrique attribuables à un seul groupe de rayons γ

¹ Mme Curie, *Le Journal de Physique et le Radium*, t. 7, 1926, p. 97 [voir p. 560 — ed.].

monochromatiques. Ces raies forment des têtes de bandes se prolongeant vers les vitesses faibles et provenant peut-être de photo-électrons produits par les rayons γ diffusés. Sur certains spectres magnétiques obtenus par les rayons β du mésothorium 2 dans la région des faibles vitesses, on remarque dans le spectre continu un vide qui pourrait correspondre, pour le groupe de rayons γ primaires de 58 kilovolts, à la séparation entre la bande des électrons de choc et celle des photo-électrons des rayons γ diffusés¹.

¹ D. K. Yovanovitch et A. Proca, *Comptes rendus*, t. 183, 1926, p. 878.

