

NOTICE

SUR LA VIE ET L'ŒUVRE

DE

SIR CHANDRASEKHARA VENKATA

RAMAN

Associé Étranger de l'Académie des Sciences

PAR

M. LOUIS DE BROGLIE

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

Lecture faite en la séance annuelle des prix du 10 décembre 1973.

MESSIEURS,

Le début du vingtième siècle a été marqué par l'apparition en Physique théorique d'idées entièrement nouvelles, la théorie des Quanta et celle de la Relativité. C'est Max Planck qui à la fin de 1899, a introduit, pour expliquer les lois du rayonnement d'équilibre

thermique, l'idée que l'émission de toute énergie radiante de fréquence ν se fait sous la forme de quantités finies d'énergie $h\nu$. La constante h qui s'introduisait ainsi pour la première fois en Physique a les dimensions d'une action, c'est-à-dire d'une énergie multipliée par un temps, et Planck lui attribuait une valeur voisine de $6,55 \cdot 10^{-27}$ erg - seconde. Ainsi, apparaissait soudain dans les théories de la Physique un élément entièrement nouveau dont la nature paraissait incompatible avec les idées admises à cette époque.

Peu après, en 1905, un jeune physicien de 26 ans, Albert Einstein, dans deux intuitions de génie presque simultanées, créait la théorie de la Relativité et apercevait dans la conception quantique du rayonnement, conséquence naturelle du travail de Planck, l'explication d'un phénomène qui depuis longtemps intriguait les physiciens, l'effet photoélectrique. En quelques lignes, il montrait que la loi, jusqu'alors incompréhensible, de l'effet photoélectrique résulte de l'arrivée sur la cellule photoélectrique de grains d'énergie de valeur $h\nu$ aujourd'hui nommés photons. On a ensuite constamment trouvé de nouvelles preuves de l'importance des photons, notamment dans l'étude des fluctuations du rayonnement noir. Mais les physiciens avaient beaucoup de peine à comprendre comment les conceptions discontinues de la théorie quantique pouvaient se concilier avec les conceptions si claires de la Physique classique. Il en est résulté une sorte de flottement des idées théoriques en Physique qui fut particulièrement visible lors des discussions très vives qui eurent lieu lors du premier Conseil de Physique Solvay tenu à Bruxelles en octobre 1911.

Cependant les conceptions quantiques continuèrent à gagner sans cesse du terrain. En 1913, Niels Bohr introduisant les quanta dans la conception de l'atome préconisée par Rutherford expliquait pour la première fois l'origine des lois jusqu'alors incompréhensibles qui traduisent la succession des raies spectrales dans l'émission des

spectres atomiques et ce nouveau succès de la théorie des quanta fut étendu et précisé par les travaux de Bohr lui-même et de Sommerfeld montrant une fois de plus l'existence d'une structure corpusculaire de l'énergie radiante. Enfin, en 1923-24, l'apparition de la Mécanique ondulatoire permit d'étendre à toutes les particules la coexistence des ondes et des concentrations corpusculaires révélée dans le domaine de la lumière par l'existence des photons, mais c'est là une question dont je n'ai pas à m'occuper ici.

Mais dans le domaine des radiations électromagnétiques qui comprend, on le sait, l'ensemble des radiations hertziennes, de la lumière infra-rouge, visible ou ultra-violette, des Rayons X et γ , l'existence des photons s'affirmait de plus en plus. Pour les rayons X et γ l'existence d'effets photoélectriques impliquant l'intervention des photons fut établi expérimentalement vers les années 1921-22 par divers physiciens dont mon frère Maurice et ses collaborateurs. J'ai eu alors l'occasion de réfléchir beaucoup avec mon frère sur ce phénomène, ce qui a eu pour moi l'avantage de me tenir en relations étroites avec l'aspect expérimental du problème. Mais les preuves expérimentales de l'existence des photons se multipliaient. En 1923, le physicien américain H. A. Compton découvrait le phénomène qui porte son nom, l'effet Compton. Ce phénomène qui consiste essentiellement dans le choc d'un photon avec un électron ne se manifeste qu'avec les Rayons X. Le résultat du choc qui dépend essentiellement de l'énergie $h\nu_0$ du photon incident et de l'angle θ que fait la direction du photon avec celle du photon dévié avec l'énergie $h\nu_\theta$ peut se calculer entièrement en admettant que le processus global a lieu avec conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement, ce qui confirme le caractère de corpuscule localisé du photon. C'est cinq ans plus tard en 1928 que le physicien indien Raman a découvert à son tour, mais pour la lumière visible et des conditions d'apparition différentes, l'effet qui porte son nom, l'effet Raman. J'aurai à vous parler tout à l'heure plus en détail de ce remarquable phénomène.

Je terminerai cette introduction en notant que tous les remarquables progrès très inattendus de la Physique théorique et de la Physique expérimentale dont je viens de vous parler suggèrent très fortement l'idée que les photons et finalement toutes les autres particules constituent des localisations d'énergie incorporées dans des ondes. Je suis personnellement entièrement revenu dans ces dernières années à l'idée que la théorie actuellement enseignée sous le nom de Mécanique quantique nous donne une bonne représentation statistique de ces faits, mais qu'elle ne nous fournit pas la véritable description de la coexistence des ondes et des particules. Mais c'est là une question sur laquelle je n'ai pas à insister ici et je veux maintenant vous parler de la vie et de l'œuvre du grand physicien indien Raman.

*
* *

Chandrasekhara Venkata Raman est né à Trichinopoly dans l'Inde du sud le 7 novembre 1888. Cette région de l'Inde se nommait alors la province de Madras. Le père de Raman, rompant avec les traditions de sa famille orientées vers l'agriculture, avait accepté un poste d'enseignement de Physique et de Mathématiques dans un Collège de la ville de Vizagapatam. Il orienta son fils vers des études analogues d'abord dans la ville où il habitait, puis à l'Université de Madras où le jeune homme poursuivit ses études avec un grand succès et où il obtient en 1907, fort brillamment, le grade de Master of Arts. Déjà, il se montrait apte à des travaux personnels et, à moins de vingt ans, il publiait un article dans le *Philosophical Magazine* et une note dans la revue *Nature*.

Mais, à cette époque, l'organisation de l'Inde offrait peu de situations scientifiques intéressantes pour un jeune homme de sa valeur. C'est ce qui amena Raman à entrer en 1907 dans l'administration indienne des finances où il resta pendant dix ans occupant diverses

fonctions à Calcutta, à Rangoon et à Nagpur. Mais cela ne l'empêche pas pendant toute cette période de poursuivre ses études et ses recherches scientifiques et même de publier de nombreux articles dans diverses revues. Ces travaux poursuivis avec un grand mérite dans des conditions difficiles attirèrent l'attention de hautes personnalités indiennes et quand Sir Taraknath Palit eut créé une Chaire de Physique à l'Université de Calcutta, cette chaire fut offerte à Raman. Bien que le traitement affecté au titulaire de cette Chaire fut sensiblement inférieur à celui qu'il recevait dans l'administration des finances, Raman, donnant ainsi un grand exemple de désintéressement, abandonna ses anciennes fonctions pour se consacrer à la Science. Il fut nommé à la Chaire Palit de l'Université de Calcutta en juillet 1917: une nouvelle période de sa vie commençait.

Installé dans ses nouvelles fonctions à Calcutta, Raman put consacrer à la science toute son activité. Non seulement il dirigea le département de physique du Collège universitaire de l'Université de Calcutta, mais, bientôt nommé secrétaire général de l'Association indienne pour le développement de la Science, il consacra une part importante de son activité à ces nouvelles fonctions. Ayant de plus obtenu des subventions diverses pour continuer ses travaux, il poursuivit des recherches dans des domaines très divers de la Physique; études d'Acoustique, théorie des instruments de musique; études d'optique sur la diffraction, les interférences, la diffraction de la lumière par les molécules, les Rayons X, la magnéto-optique, etc., toutes ces recherches étant effectuées avec des appareils qui étaient souvent d'une étonnante simplicité.

C'est au cours de ces travaux si divers qu'il fut amené dès le début de 1928 à la découverte de l'effet Raman dont il poursuivit pendant quatre années avec ses jeunes collaborateurs une étude continue de plus en plus approfondie. C'est, semble-t-il, au cours d'un voyage qu'il fit en Europe en 1921 que Raman avait été amené

à se poser le problème de l'origine de la coloration bleue de la Méditerranée qu'il attribua à la diffraction moléculaire de la lumière par l'eau de la mer. Et ce furent ces observations qui l'amènèrent à consacrer pendant les années suivantes une grande partie de ses travaux à l'étude de la diffusion de la lumière par les milieux solides, liquides et gazeux.

Sa renommée devenait de plus en plus internationale. Il fut invité aux États-Unis, au Canada, en Angleterre, en Norvège, en Russie. Il alla à Stockholm après la découverte de l'effet Raman recevoir le prix Nobel en 1930, puis à Paris en 1932 pour recevoir le Doctorat honoris causa de l'Université de Paris. Élu dès 1924 Membre de la Royal Society de Londres, il fut anobli par le gouvernement anglais et fut dès lors Sir Chandrasekhara Venkata Raman. Je bornerai là l'énumération des distinctions innombrables reçues par Raman au cours de sa carrière car il serait trop long de les mentionner toutes.

Je vais maintenant me permettre de rappeler un curieux souvenir personnel concernant le grand savant indien. Au cours de l'un de ces séjours à Paris, à une date que je ne puis pas préciser, mais probablement vers 1930, j'ai eu l'occasion de voir Raman au cours d'une réception privée. Quand il entra, je fus frappé par sa haute stature, la vivacité de son regard et son magnifique turban blanc. Il parla avec vivacité et se laissa aller à des confidences. Il nous dit que sa famille appartenait à la caste des brahmanes qui, dans l'ancienne organisation sociale de l'Inde, était la caste la plus élevée, celle qui avait le privilège que seuls certains de ces membres pouvaient devenir prêtres de la religion brahmanique. Il ajouta que, quand un garçon naît dans une famille de la caste des brahmanes, on lui met autour du cou une petite cordelette qu'il doit ensuite garder pendant toute sa vie sans jamais l'enlever. Et, ouvrant le col de sa chemise, il montra la cordelette qu'il portait à son cou. Cependant, nous dit-il, un membre de la caste des brahmanes parvenu à un certain âge avait le droit d'aller jeter sa cordelette dans

le Gange, mais alors il devait ensuite vivre uniquement d'aumônes et ne plus jamais coucher sous un toit. Et il ajouta en souriant: « Peut-être le ferai-je, le moment venu ». Mais il ne l'a certainement jamais fait!

*
* *

Le moment est venu pour moi de vous parler du remarquable phénomène physique dont la découverte a fait la gloire de l'illustre savant que notre Académie, après l'avoir nommé Correspondant, l'a très vite ensuite mis au nombre de ses Associés étrangers.

Comme je l'ai rappelé, c'est en 1928, que Venkata Raman a montré qu'en éclairant certains corps comme le benzène par une radiation monochromatique du spectre visible de fréquence ν , on obtenait une lumière diffusée contenant en dehors de la fréquence ν elle-même, d'autres fréquences de la forme $\nu - \nu_{ik}$ où les ν_{ik} sont des fréquences infra-rouges qui peuvent être émises par les molécules du corps diffuseur. On est ensuite parvenu à montrer que la radiation diffusée contenait aussi des fréquences de la forme $\nu + \nu_{ik}$, mais avec une intensité beaucoup moindre, ce qui explique pourquoi l'émission de ces fréquences avait initialement échappée à Raman.

Ces faits sont faciles à expliquer à l'aide de la théorie des photons et de celle de l'atome de Bohr. Supposons, en effet, que les molécules du corps diffuseur soient susceptibles de deux états d'énergie E_i et $E_k < E_i$. Ces molécules sont donc susceptibles d'émettre d'après la loi de Bohr une radiation de fréquence $\nu_{ik} = \frac{E_i - E_k}{h}$ et cette fréquence figurera dans le spectre infra-rouge du corps diffuseur.

Mais supposons maintenant que nous éclairions ce corps avec de la lumière visible de fréquence ν , c'est-à-dire en somme que nous

le bombardions à l'aide de photons d'énergie $h\nu$. Si la molécule diffusante se trouve initialement dans l'état d'énergie E_k , elle pourra lors de l'impact du photon lui emprunter l'énergie $E_i - E_k$, ce qui lui permettra de passer à l'état d'énergie supérieure E_i : le photon diffusé n'aura plus alors que l'énergie $h\nu - (E_i - E_k) = h(\nu - \nu_{ik})$ et sa fréquence sera abaissée et ne sera plus que $\nu - \nu_{ik}$. Ainsi s'explique le phénomène initialement observé par Raman. Mais si le photon d'énergie $h\nu$ vient frapper une molécule qui se trouve par suite d'une excitation antérieure dans l'état d'énergie supérieure E_i , celle-ci pourra lui céder l'énergie $E_i - E_k$ et après le choc l'énergie du photon sera $h\nu + (E_i - E_k) = h(\nu + \nu_{ik})$: sa fréquence aura augmentée et sera devenu $\nu + \nu_{ik}$. Ainsi nous avons bien rendu compte de l'existence dans le spectre diffusé des fréquences $\nu + \nu_{ik}$ qui avaient initialement échappé à Raman.

Mais pourquoi l'intensité de la radiation de fréquence $\nu + \nu_{ik}$ est-elle beaucoup plus faible que celle de la radiation de fréquence $\nu - \nu_{ik}$? On peut le comprendre aisément si l'on se souvient que, d'après une loi générale de la Thermodynamique, les corps ont toujours tendance à prendre leur état d'énergie minimale. Il en résulte que, dans le corps diffuseur dont les molécules sont susceptibles d'avoir les deux états d'énergie E_i et E_k , il y aura toujours beaucoup plus de molécules dans l'état d'énergie inférieur E_k que dans l'état d'énergie supérieur E_i . Or, le second processus de diffusion Raman, celui qui élève la fréquence en la faisant passer de ν à $\nu + \nu_{ik}$, ne peut se produire que pour les molécules qui se trouvent initialement dans l'état d'énergie supérieure E_i ; il entrera donc en jeu beaucoup plus rarement que le premier processus de diffusion Raman, celui qui abaisse la fréquence en la faisant passer de ν à $\nu - \nu_{ik}$, puisque ce premier processus se produit dans

les molécules se trouvant dans l'état E_k , beaucoup plus fréquemment réalisé que l'état E_i . La théorie des photons explique donc parfaitement toutes les particularités de l'effet Raman, ce que ne pouvaient faire les théories reposant sur les conceptions classiques qui en avaient été d'abord proposées.

Je voudrais maintenant indiquer les différences fondamentales qui existent entre l'effet Raman et l'effet Compton découvert cinq ans auparavant et cela bien que l'effet Compton soit également un phénomène de diffusion du rayonnement par la matière. L'effet Raman est observé pour la lumière; les changements de fréquence qui lui correspondent dépendent de la nature du corps diffusant et sont indépendants de la direction dans laquelle on observe la diffusion. Au contraire, l'effet Compton est observé seulement pour les Rayons X et les Rayons γ ; les changements de fréquence qui lui correspondent sont indépendants de la nature du corps diffuseur, mais varient avec la direction dans laquelle on observe la diffusion. On voit combien différent ces deux phénomènes dus cependant tous deux à l'action des photons sur la matière.

Depuis sa découverte, l'effet Raman a fait l'objet d'un nombre immense d'applications dans les domaines de la Physique, de la Chimie et des Techniques industrielles. Je ne me sens pas compétent pour exposer ces applications et je dois me borner à reproduire devant vous ce que notre éminent Confrère, M. Jean Lecomte, si compétent en cette matière, en a dit dans la Notice nécrologique qu'il a consacrée à Raman en 1971, voici ce texte :

« L'effet Raman conduit, même pour les molécules compliquées à une grande simplicité qui contraste singulièrement avec l'extrême complexité de certains spectres d'émission ou d'absorption. Cette simplicité donne à son étude une signification spéciale et une valeur particulière. Aussi les utilisateurs des spectres de diffusion sont de plus en plus nombreux dans le monde entier et exploitent sur des milliers de substances les applications analytiques et

structurales. Dès 1931, seulement trois ans après la découverte du phénomène, on comptait déjà plus de 400 publications et des milliers aujourd'hui. Après une désaffection à la suite de la deuxième guerre mondiale, le recours à des masers et à des lasers, à la place de la lampe à vapeur de mercure sous haute pression, jusque là généralement utilisée comme source, a redonné un deuxième souffle aux recherches sur l'effet Raman et à leurs applications en fournissant une source extrêmement puissante et parfaitement monochromatique, palliant ainsi les différentes difficultés rencontrées avec des substances colorées, fluorescentes, ou en poudre. On a ainsi redécouvert les résultats des anciens travaux de l'École de Bangalore sur la diffusion sans changement de fréquence. Des prolongements extrêmement intéressants se présentent également avec l'effet Raman stimulé dont la découverte est assez récente. — Les différences de fréquence entre celle de la raie excitatrice et celles des raies réémises se retrouvent dans le spectre infrarouge. Spectre Raman et spectre infrarouge correspondent à deux phénomènes complémentaires: ils servent tous deux à identifier les substances et à établir leur structure moléculaire ou cristalline. De ce fait, l'infrarouge a pris, depuis 1928, un intérêt considérablement accru ».

Ce texte permet d'apprécier l'importance et l'intérêt des diverses utilisations de l'effet Raman.

*
* *

Après 1930, jeune encore, Raman, savant illustre, lauréat du prix Nobel, connu dans le monde entier pour l'importance de ses travaux, est au sommet de sa carrière. Mais en avril 1933 se produit dans sa vie un brusque changement qui va lui ouvrir un nouveau champ d'activité. Quittant le poste de Professeur à l'Université de Calcutta qu'il occupait depuis dix-huit ans, il décide de retourner dans l'Inde du Sud, son pays d'origine, et il accepte une chaire de

Physique à l'Université de Bangalore, ville importante alors située dans l'état de Mysore (ou Maïssour en langue indienne).

Son installation à Bangalore ne se fit d'ailleurs pas sans quelques difficultés. D'abord rattaché à l'Indian Institute of science de Bangalore, il ne tarda pas à s'en séparer et à fonder un centre de recherches personnel The Raman Research Institute. Il y poursuivit avec ses collaborateurs de nombreux et importants travaux sur la lumière et les Rayons X, ne se déplaçant plus que rarement.

Puis en 1934, il fonda The Indian Academy of Sciences dont il resta président jusqu'à sa mort. Cette Académie comportait une Section de Physique et une Section de Biologie. Elle publiait les recherches qui y étaient effectuées dans ses Proceedings.

Raman fut toute sa vie comme fasciné par la beauté des pierres précieuses et dans le musée qu'il constitua dans le Raman Research Institute il en réunit d'admirables spécimens. En particulier son attention se fixa souvent sur les propriétés des diamants et les étudiants qui travaillaient sous sa direction furent toujours invités par lui à étudier quelques-unes de ces propriétés. Avec leur aide, il parvint ainsi à déterminer leurs raies d'absorption, leur spectre Raman et une foule d'autres propriétés optiques. Il put ainsi constater que ces propriétés varient beaucoup suivant le spécimen étudié. L'intérêt qu'il portait à cette belle pierre précieuse était à la fois scientifique et esthétique et il a consacré un grand nombre d'études à en décrire toutes les propriétés et toutes les beautés. Il porta même souvent son attention sur les nombreuses mines de diamants qui existent en Inde et, en particulier, sur celles qui occupent plus de 60 000 ouvriers dans la vallée de la Krishna.

Au fur et à mesure que les années passaient, Raman était de plus en plus considéré dans son pays comme une grande gloire nationale. En 1954, le gouvernement de l'Inde lui fit l'honneur de lui décerner le « Bahrat Ratna », la plus haute récompense qui existe dans son pays et à l'heure actuelle il est encore le seul savant indien à avoir reçu cet honneur. Notons encore qu'en 1949,

on lui avait déjà décerné le titre exceptionnel de « Professeur national ».

Pendant toute sa vie, Raman eut des goûts très divers et s'intéressa à toutes les formes de l'art et, en particulier, à la musique et les remarques qu'il faisait dans tous les domaines étaient toujours pleines d'humour et de finesse. Il publia plusieurs livres dont l'un sur les instruments de musique et un autre, la dernière année de sa vie, sur la Physiologie de la vision. Mais il avait aussi, comme il est bien naturel, consacré un important volume à la « Diffraction moléculaire de la lumière ».

Enfin il est intéressant de noter que Raman eut avec Nehru, alors premier Ministre de l'Inde, une vive controverse au sujet des recherches scientifiques désintéressées. Nehru avait admonesté les savants indiens en leur demandant de sortir de la tour d'ivoire dans laquelle ils se renfermaient. Raman lui répondit avec vivacité et d'une façon fort tranchante en disant: « Les hommes renfermés dans leur tour d'ivoire dont il s'agit sont le sel de la terre et c'est à eux que l'humanité doit son existence et ses progrès ».

Cependant pour Raman, l'âge venait, mais il conservait toujours une parfaite lucidité et une grande activité. Le 2 octobre 1970, six semaines avant sa mort, assistant à une cérémonie faite en l'honneur de Gandhi, il y faisait encore une conférence sur la Physiologie de l'Audition.

Il mourut le 21 novembre 1970 après une courte maladie à l'âge de 82 ans.

*
* *

MESSIEURS,

L'Inde est un très vaste pays où sont juxtaposés de nombreuses régions de géographies, de climats, de langues et de traditions qui diffèrent beaucoup. Néanmoins la plupart d'entre elles sont unies par les souvenirs d'un long et brillant passé. L'Inde a vu naître

un très grand nombre d'idées philosophiques, religieuses et littéraires et de réalisations artistiques qui font toujours l'admiration des indianistes. Elle a eu à subir de nombreuses invasions qui toutes venaient du nord-ouest par la route qui, partant du Moyen-Orient, atteint par l'Afghanistan la vallée de l'Indus. C'est, en particulier, par cette trouée de Kaboul, que plus de trois siècles avant notre ère, les armées d'Alexandre le Grand ont envahi l'Inde du Nord-Ouest. Par suite de ces invasions consécutives, la péninsule indienne a été successivement soumise à des dominations étrangères qui n'ont cependant jamais pu altérer profondément l'originalité de sa civilisation.

En écrivant cette Notice, j'avais sous les yeux un fort beau portrait de Raman avec son turban blanc, son vêtement presque monastique et son regard perçant. Et je pensais en le regardant que Chandrasekhara Venkata Raman, tout en incarnant les traditions de son pays, avait par sa belle carrière et par son éclatante découverte fait entrer l'Inde dans la Science moderne.
