



La découverte des électrons

par Maurice Goldman, membre de l'Académie des sciences

Les électrons ont été découverts en 1899 par le physicien britannique Sir Joseph John Thomson, découverte couronnée en 1906 par le prix Nobel de Physique. Comme beaucoup de découvertes scientifiques, elle constituait l'aboutissement d'un ensemble de recherches et de découvertes partielles, étendues sur un grand nombre d'années et effectuées par de nombreux physiciens dans plusieurs pays. Dans le déroulement historique de ces recherches, la contribution du physicien français Jean Perrin a constitué une étape particulièrement importante qui a en grande partie servi de base aux travaux ultérieurs. Le but de cet article est de décrire les étapes principales de la progression des recherches et des compréhensions dans cette entreprise, et d'y situer en perspective la contribution de Jean Perrin.

Nous commençons par évoquer succinctement les travaux antérieurs. C'est par l'étude des rayons cathodiques, émis dans la décharge électrique de gaz à faible pression (un mm de mercure ou moins) sous une tension électrique de mille à quelques milliers de volts, qu'est née la découverte des électrons. Cette décharge provoque l'apparition dans le gaz d'une lueur phosphorescente, dont la première mention semble due à Benjamin Franklin à la fin du XVIII^{ème} siècle, comme une curiosité, mais le véritable début de son étude est due à Michael Faraday vers la fin des années 1830, qui a observé en particulier avec de La Rive la déviation du faisceau lumineux par un champ magnétique. Viennent ensuite les travaux de deux physiciens allemands, Plücker et surtout son élève Hittorf, qui a établi en 1869 que le rayonnement était émis par la cathode et qu'il se propageait en ligne droite. Les tubes utilisés ont été notablement perfectionnés par Crookes en 1879, et l'on ne les désignera plus que sous le nom de « tubes de Crookes ». Partisan de la nature corpusculaire négativement chargée de ces rayons cathodiques, il lance la polémique sur leur nature exacte. Dans la période suivante, quelques faits parmi les plus marquants sont :

-1879-80 : Goldstein, qui donne leur nom aux « rayons cathodiques », calcule que le parcours moyen de « molécules » ionisées est trop court pour que leur trajectoire soit rectiligne ;

-1883 : Hertz découvre que ces rayons ne sont pas déviés par un champ électrique ;

-1891 : Hertz découvre que les rayons peuvent traverser de fines feuilles de métal. Ce travail est repris et précisé par son élève Lenard (1894). Ils en déduisent que les rayons cathodiques ne peuvent pas être des molécules ionisées ;

-1894 : Thomson découvre que la vitesse des rayons cathodiques est très inférieure à celle de la lumière.

A la veille des travaux de Jean Perrin, il existe deux écoles quant à l'interprétation de la nature des rayons cathodiques, comme l'explique en particulier J.J. Thomson dans sa « Nobel Lecture » de 1906 :

. The green

phosphorescence is caused by cathode rays and at one time there was a keen controversy as to the nature of these rays. Two views were prevalent: one, which was chiefly supported by English physicists, was that the rays are negatively electrified bodies shot off from the cathode with great velocity; the other view, which was held by the great majority of German physicists, was that the rays are some kind of ethereal vibration or waves.

L'argument principal des Anglais, conduits par Crookes et Thomson, est la déviation des rayons par un champ magnétique, caractéristique d'une force de Lorentz sur des charges négatives en mouvement. Ceux des Allemands, conduits par Goldstein, Hertz et Lenard, sont la faiblesse du libre parcours moyen des molécules, la traversée de feuilles de métal de quelques microns, et la non-déviation des rayons par un champ électrique. (Ce dernier point fut éclairci plus tard, en particulier par Thomson en 1897: la pression de gaz résiduelle dans les premiers tubes était telle que les atomes ionisés par la décharge électrique formaient par leur charge d'espace un écran électrostatique autour des rayons proprement dits, qui neutralisait le champ électrique extérieur. En abaissant la pression dans les tubes, Thomson a pu observer une déviation des rayons, dans le sens approprié à des charges négatives).

C'est dans ce contexte que Jean Perrin entreprit les expériences décrites dans un célèbre article de 1895 des Comptes Rendus de l'Académie des sciences. Il a fait pénétrer les rayons cathodiques dans un cylindre de métal percé d'une petite ouverture (cylindre de Faraday) et a constaté qu'au cours du temps s'y accumulait une charge électrique négative. Si par contre il déviait le faisceau par un champ magnétique de façon qu'il ne pénètre plus dans le cylindre, aucune charge ne s'y accumulait. Ce résultat apportait la preuve indiscutable que les rayons cathodiques étaient porteurs d'une charge électrique négative, dont il a conclu qu'ils étaient constitués de particules chargées négativement, car par l'expérience de l'électrolyse on ne connaissait que des particules qui soient chargées d'électricité, alors que les ondes lumineuses étaient neutres, mais il n'a pas poussé ses investigations jusqu'à déterminer la charge e ni la masse m de ces particules Il le dit dans son article, ajoutant que ce serait possible. La conclusion essentielle de son article est reproduite ci-dessous.

» L'ensemble de ces résultats ne paraît pas facilement conciliable avec la théorie qui fait des rayons cathodiques une lumière ultra-violette. Ils s'accordent bien au contraire avec la théorie qui en fait un rayonnement matériel et qu'on pourrait, me semble-t-il, énoncer actuellement ainsi :

» Au voisinage de la cathode, le champ électrique est assez intense pour briser en morceaux, *en ions*, certaines des molécules du gaz restant. Les ions négatifs partent vers la région où le potentiel croît, acquièrent une vitesse considérable et forment les rayons cathodiques; leur charge électrique et, par suite, leur masse (à raison d'une valence-gramme pour 100000 coulombs) est facilement mesurable.

S'il parle d' *ions*, c'est-à-dire de particules de masse au moins égale à celle de la plus légère connue alors, l'hydrogène, comme Goldstein, Hertz et Lenard parlaient de *molécules*, c'est que compte tenu des connaissances de l'époque aucune autre particule n'était concevable.

Le résultat obtenu par Jean Perrin a dès l'époque été considéré comme fondamental, car il a « débloqué » la controverse et permis d'établir les recherches suivantes sur une base solide. Celles-ci ont d'abord porté sur la détermination du rapport e/m de la charge sur la masse. Cette détermination a été faite dans les années suivantes, indépendamment par plusieurs physiciens: Zeeman en 1896, par l'analyse de l'élargissement des raies spectrales par un champ magnétique, Wiechert, Kaufmann et Thomson en 1897, par la mesure de la déviation des rayons cathodiques par des champs magnétiques et électriques. La valeur la plus précise de ce rapport est due à Thomson. L'étape décisive a été franchie deux ans plus tard : la valeur de la charge e a été obtenue expérimentalement par J.J. Thomson en 1899, en utilisant la toute nouvelle invention de son élève C.T.R. Wilson, la célèbre chambre de Wilson destinée à révolutionner la pratique expérimentale en physique nucléaire. Connaissant la valeur de e/m , il en a déduit la valeur de la masse m , trouvée environ 1700 fois plus faible que M , celle du plus léger atome connu, l'hydrogène (La valeur actuelle est 1836). Thomson en a conclu que les électrons étaient des particules de nature entièrement nouvelle, sans commune mesure avec ce qui était connu auparavant, ce qui n'avait été envisagé qu'en tant qu'hypothèse par certains physiciens dans les années précédentes, et combattu par beaucoup d'autres. Thomson découvrit cette même année que les particules éjectées d'un métal chauffé avaient exactement le même rapport e/m que celles émises par les rayons cathodiques et leur étaient donc identiques. Il décrit ainsi cette conclusion à la fin de sa « Nobel Lecture » :

The corpuscle is thus very widely distributed, but wherever it is found, it preserves its individuality, e/m being always equal to a certain constant value.

The corpuscle appear to form a part of all kinds of matter under the most diverse conditions; it seems natural therefore to regard it as one of the bricks of which atoms are built up.

Cette conclusion était révolutionnaire. Elle impliquait, ce qui s'est avéré exact au-delà de toute expression, que les atomes n'étaient pas « insécables » mais étaient des entités composites. Cette découverte marquait le début d'une nouvelle physique, la physique atomique du XX^{ème} siècle. Il y manquait encore la preuve formelle de l'existence des atomes, ce dont certains doutaient encore. Cette preuve fut apportée quelques années plus tard par les travaux de Jean Perrin, couronnés par le

Prix Nobel de physique 1926, qui ont aboutit à la détermination du nombre d'Avogadro, au moyen duquel on peut compter les atomes, et si on peut les compter, c'est qu'ils existent.

La conclusion de J.J. Thomson, citée plus haut, appelle un commentaire : elle semble trop modeste. Si des particules de mêmes caractéristiques s'échappent de la matière excitée dans des conditions variées, c'est peu de dire qu'il est naturel de les considérer comme constituants préexistant dans cette matière, cela semble évident.

Dans les années qui ont suivi la découverte des électrons dans les conditions décrites ci-dessus, on a découvert que dans une des variétés de radioactivité, la radioactivité β (dont le siège est le noyau atomique, alors inconnu) les rayons émis étaient eux aussi des électrons identiques aux précédents. Seulement, cette fois l'argument « évident » approprié aux électrons de Thomson ne s'applique plus : les électrons issus d'une désintégration β ne préexistaient pas dans le noyau, ils sont créés dans le processus de désintégration, en même temps qu'une autre particule, l'antineutrino, dont l'existence n'a été soupçonnée puis détectée que beaucoup plus tard. Mais ceci est une autre histoire.