

Personne n'a découvert l'électron

L'émergence de la première particule fut un long travail collectif et multiforme

Benoît Lelong

La Recherche, 303, 80-84, 1997.

Pour se raconter leur histoire, les physiciens, comme toute communauté humaine, construisent des mythes fondateurs. La découverte de l'électron par J. J. Thomson, dont cette année marque le centenaire, est l'un des plus célèbres. Serait-il aussi l'un des plus éloignés de la réalité historique ?

N'importe quel manuel scolaire de sciences physiques nous l'apprend : l'électron est l'une des particules constituant les atomes, avec les protons et les neutrons. Depuis l'entre-deux-guerres, il était clair pour les physiciens comme pour les historiens des sciences que cette première particule élémentaire avait été découverte en 1897 par Joseph John Thomson, alors directeur du Cavendish Laboratory de Cambridge ¹. Ce travail, récompensé par le prix Nobel de 1906, figurait depuis au panthéon des grandes découvertes de la physique, aux côtés de celles de Hertz, de Becquerel ou de Röntgen.

À partir des années 1960, ce récit classique a été profondément révisé. De nouvelles générations d'historiens, certains s'inspirant des travaux de T. Kuhn sur les paradigmes scientifiques ², d'autres plus récemment de la sociologie des sciences ³, ont proposé une autre image de l'émergence de l'électron. Le colloque qui s'est récemment tenu à Londres pour célébrer le centenaire de l'événement a permis de prendre la mesure de ce bouleversement. Le récit héroïque du dévoilement d'un pan caché de la nature par l'eureka d'un génie solitaire et inspiré a été remplacé par la construction longue, collective et négociée, d'un nouvel objet et de pratiques inédites.

Les expériences de Thomson étaient présentées comme ayant résolu l'une des grandes controverses scientifiques de l'époque. À la fin du XIXe siècle, en effet, deux conceptions s'affrontent à propos des rayons cathodiques, c'est-à-dire du rayonnement émis par la cathode d'un tube à gaz raréfié. Pour une partie des physiciens, notamment les Britanniques, les rayons représentent les trajectoires de particules en mouvement. Les autres physiciens les décrivent au contraire comme des ondes se déployant à travers ce milieu universel qui nous semble aujourd'hui si étranger : l'éther. Pour les premiers, les rayons sont déviés par un champ magnétique et véhiculent une charge électrique, ce qui soutient la vision particulaire, la « théorie de l'émission ». Parmi les seconds, H. Hertz rapporte qu'ils ne sont pas déviés par un champ électrique et P. Lenard qu'ils peuvent traverser une paroi métallique, ce qui semble accréditer la conception ondulatoire ⁴.

Situés dans ce contexte, les travaux de Thomson faisaient figure d'expérience cruciale. En 1897, reprenant et modifiant un dispositif de Jean Perrin, il met en évidence la charge électrique véhiculée par les rayons. Thomson parvient aussi à les dévier électrostatiquement, faisant ainsi apparaître

¹ Colloque « The electron : 100 years of physics and history », *British Society for the History of Science*, Londres, 11-12 avril 1997.

² Thomas Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, 1983.

³ Sur la sociologie des découvertes scientifiques, voir Augustine Brannigan, *The social basis of scientific discoveries*, Cambridge University Press, 1981 ; Sur la sociologie de la traduction, voir Bruno Latour, *La Science en action*, La Découverte, Paris, 1989.

⁴ D. Anderson, *The discovery of the electron*, Van Nostrand, Princeton, 1964.

le résultat de Hertz comme un artefact, comme une erreur due à une insuffisante raréfaction du gaz. Son dispositif expérimental lui permet enfin de mesurer le rapport de la charge électrique e à la masse m des particules, à défaut d'avoir accès à la mesure indépendante des deux grandeurs. Il obtient des valeurs de e/m environ mille fois supérieures à celles de l'atome d'hydrogène et, de plus, montre qu'elles sont indépendantes du gaz et du métal des électrodes qu'il emploie dans ses expériences. Thomson en tire une triple conclusion : les rayons sont des « corpuscules », c'est-à-dire des particules chargées négativement, celles-ci sont environ mille fois moins massives que l'atome d'hydrogène, et elles sont un composant de tous les atomes quelle que soit leur identité chimique.

Les arguments de la conception corpusculaire se voient donc étendus et renforcés, et ceux de sa rivale anéantis (en particulier, le phénomène de Lenard s'explique par la taille infime des corpuscules, ce qui les rend susceptibles de traverser aisément les parois ⁵. La controverse est donc résolue. Et l'électron vient d'être découvert. Ici s'arrête le récit traditionnel. Une première rectification consiste à redistribuer la paternité de la découverte. Il est maintenant établi qu'un physicien allemand, Emil Wiechert ⁶, avait devancé Thomson : quatre mois avant lui, Wiechert mesure e/m pour les rayons cathodiques, affirme que les rayons sont des particules et non des ondes, et suggère que ces particules sont un élément constitutif de l'atome. Mais son article est publié dans une revue peu prestigieuse et mal distribuée, il passe donc largement inaperçu. Thomson, notamment, ne l'a pas lu.

Il est vrai qu'à la fin du XIXe siècle l'expérimentation sur les rayons cathodiques, et plus généralement sur la conduction des gaz, forme un domaine de recherche important par le nombre de ses praticiens et la fréquence de leurs publications.

Conçu comme une structure tourbillonnaire de l'éther, le « corpuscule » de Thomson est un pur produit de la tradition britannique

Un examen approfondi rappellerait que les travaux de Thomson (ses mesures de e/m ou ses spéculations sur la nature de la particule cathodique) ont été précédés par ceux d'Arthur Schuster en 1890 ⁷, accompagnés par ceux de Wiechert et Perrin en 1897, et prolongés par ceux de Walter Kaufmann à partir de 1898. Mais on ne tentera pas ici d'exhumer des co-découvreurs. Notre attention ne portera pas sur le travail des expérimentateurs, mais plutôt sur l'interprétation de leurs résultats, sur les diverses tentatives visant à les intégrer dans des conceptualisations globales du monde naturel. A ce titre, une deuxième et importante révision consiste à montrer que plusieurs concepts d'électrons étaient disponibles en 1897.

Le « corpuscule » thomsonien est indissociable de son contexte national et local de production. La tradition britannique en électromagnétisme reposait alors sur une base théorique unitaire : dans cette approche, tous les phénomènes peuvent en dernière instance être expliqués par les mouvements d'un unique milieu continu, l'éther. Même la matière n'est qu'une forme particulière de ce médium. Le corpuscule de Thomson est conçu comme une structure tourbillonnaire de l'éther, il est donc un produit typique de cette tradition, de son outillage mathématique comme de son imagerie mentale. Il respecte aussi le cadre méthodologique institué par l'une de ses figures emblématiques, James Clerk Maxwell. Pour ce dernier, la charge électrique n'était pas une substance mais un effet de bord survenant à la surface de séparation entre l'éther matériel et l'éther immatériel — et c'est

⁵ J. J. Thomson, Cathode rays, *Philosophical Magazine*, **5** (44), 293-316, 1897.

⁶ E. Wiechert, Ergebniss einer Messung der Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen, *Schriften der physikalischökonomisch Gesellschaft zu Königsberg*, **38**, 3-16, 1897. Cette référence n'était pas fournie dans l'article original. Wiechert montra que des particules de masse mille fois plus petites que celle de l'hydrogène existait, cf. J. F. Mulligan, E. Wiechert (1861-1928) : Esteemed seismologist, forgotten physicist, *American Journal of Physics*, **69** (3), 277-287, 2001.

⁷ A. Schuster, Experiments on the discharge of electricity through gases. Sketch of a theory, *Proceedings of the Royal Society of London*, **37**, 317-339, 1894 — Experiments on the discharge of electricity through gases. (Second paper), *Proceedings of the Royal Society of London*, **42**, 371-379, 1897.

bien ainsi que Thomson définit la charge du corpuscule. Les usages scientifiques de ce concept, eux, portent la marque du Cavendish Laboratory et de son programme de recherche. En effet, depuis l'arrivée de Thomson à la direction du laboratoire en 1884, le Cavendish s'est spécialisé sur les décharges électriques en milieu gazeux. Et c'est à partir de son corpuscule que Thomson élabore des théorisations détaillées de divers effets physiques, qui servent ensuite de guide à son équipe pour améliorer la production des phénomènes, les méthodes de mesure et l'élimination des artefacts ⁸.

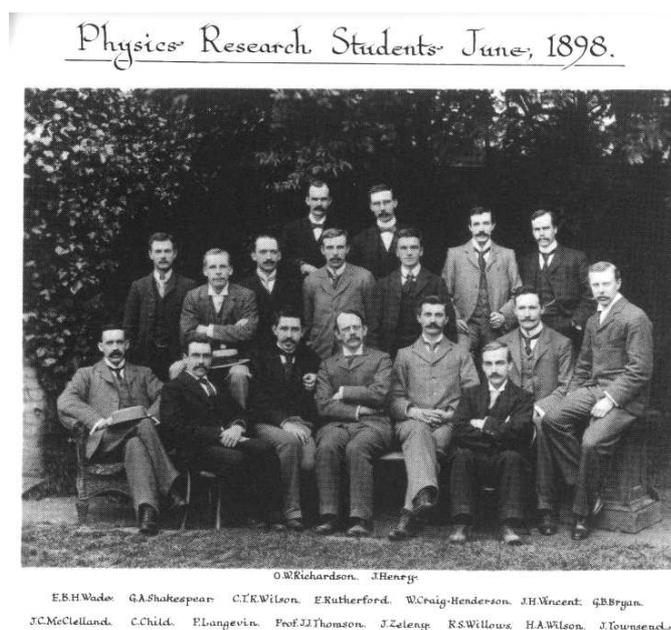


Fig. 1: Rassemblée autour du professeur J. J. Thomson. La promotion 1898 du Cavendish Laboratory comporte quelques futurs grands physiciens : les Langevin, Rutherford, Wilson et autres Townsend propageront ensuite dans leurs laboratoires respectifs l'esprit et la terminologie de la physique de Cambridge. (Cliché Cavendish Laboratory).

Mais le corpuscule de Thomson diffère notablement des « électrons » que l'on peut rencontrer dans la littérature scientifique en 1897 : ce terme désigne alors de façon spécifique une entité théorique conçue par deux théoriciens irlandais, Joseph Larmor et George FitzGerald. Poursuivant l'œuvre de Maxwell, ceux-ci s'efforcent de rendre compte de certains effets magnéto-optiques que la théorie électromagnétique avait encore du mal à expliquer. En 1894, ils conviennent que l'éther ne suffira pas à cette tâche. Ils décident donc d'y introduire des singularités que FitzGerald, reprenant un mot employé auparavant par G. Stoney, suggère d'appeler « électrons ». Formellement, leur électron est un point focal d'une tension au sein de l'éther, une sorte de déchirure locale du milieu. Il diffère donc du corpuscule de Thomson, mais reprend comme lui les modèles dynamiques de la tradition anglaise. Par son rôle dans la théorie, l'électron marque cependant plusieurs ruptures avec l'orthodoxie maxwellienne. Tout d'abord il représente une charge électrique ponctuelle et indépendante de la matière. Ce qui oblige Larmor et FitzGerald à remanier la définition théorique de la charge pour permettre son existence sans effet de surface. Ensuite, l'électron sert à rendre compte de certains effets, comme la capacité inductive ou les courants de conduction, des effets

⁸ Isobel Falconer, Corpuscles, electrons and cathode rays : J. J. Thomson and the "discovery of the electron", *British Journal for the History of Science*, **20**, 241, 1987.

qui, selon le schéma maxwellien, devaient être attribués à un seul milieu continu.

De fait, ces électrons s'inscrivent dans le projet scientifique d'un réseau informel de physiciens, constitué par J. Larmor, G. FitzGerald et O. Lodge, un réseau dont Thomson était exclu. Cette poignée de physiciens se donnent pour objectif d'aménager la théorie électromagnétique afin d'élargir son assise empirique et d'accroître ses applications industrielles. Pour ce faire, et tout en revendiquant pour eux-mêmes le nom de « maxwelliens », ils n'éprouvent aucune réticence, à la différence de Thomson, à fréquemment réformer l'héritage laissé par le père fondateur ⁹.

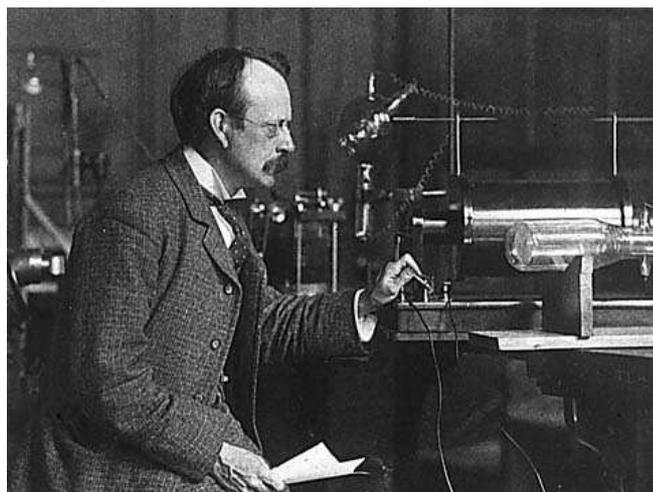


Fig. 2: Quelques temps après sa « découverte », J. J. Thomson pose devant un tube à gaz raréfié.

A Leyden, aux Pays-Bas, H. Lorentz s'efforce comme Larmor et ses proches d'intégrer l'optique, l'électromagnétisme et la structure atomique de la matière dans un cadre conceptuel unifié. En 1892, il publie une théorie fondée sur des charges élémentaires dénommées « ions ». Ce substantif désigne aujourd'hui un atome ou une molécule de charge non nulle ; il n'a pas une signification aussi précise chez Lorentz, désignant simplement une particule chargée dont le lien avec la structure de la matière n'est pas spécifié. Malgré plusieurs emprunts à Maxwell, Lorentz est intellectuellement et culturellement proche de l'électrodynamique allemande dominée par les figures de H. Helmholtz et W. Weber. Son cadre de travail, contrairement à celui de Maxwell, est dualiste et particulière : matière et éther y constituent deux entités différentes dont il s'agit de comprendre les interactions. L'« ion » est un objet matériel de nature différente de l'éther au sein duquel il se trouve immergé. Par ailleurs, chez Lorentz, la charge est un concept primaire dont dérive la polarisation électrique (chez Maxwell, celle-ci provoquait celle-là). Larmor, par contraste et malgré son réformisme, est bien plus proche du système maxwellien. Son électron est une perturbation locale de l'éther, et non un corps étranger implanté dans le continuum. Ce sont ces clivages, avec d'autres, qui ont conduit les historiens de la physique théorique à distinguer un « style britannique » et un « style continental » à la fin du XIXe siècle ¹⁰. Le tournant du siècle voit ainsi se multiplier les concepts de particule élémentaire électrisée : corpuscule de Thomson, électron de Larmor, ion de Lorentz, etc. De fait, chacune de ces particules puise sa forme et sa légitimité dans des pratiques et des codes éminemment locaux, dans la culture de groupes, de réseaux ou d'espaces sociaux qui ont leurs propres ressources conceptuelles, leurs propres normes de rigueur et leurs propres objectifs

⁹ Bruce Hunt, *The Maxwellians*, Cornell University Press, Ithaca-London, 1991 — Jed Buchwald, *From Maxwell to microphysics*, Chicago University Press, Chicago, 1985.

¹⁰ Olivier Darrigol, The electron theories of Larmor and Lorentz : a comparative study, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 24 (2), 265, 1994.

scientifiques. La prolifération des concepts ne se comprend qu'avec la prise en compte de la forte hétérogénéité intellectuelle et institutionnelle du monde des physiciens de l'époque.

Une autre rectification historiographique consiste à relativiser la force démonstrative des expériences de Thomson.

Incontestablement, la conception ondulatoire avait été invalidée au profit de sa rivale. Les rayons cathodiques, cela était clair désormais, étaient bien des particules. Mais que ces particules soient des composants de l'atome, voilà qui est loin d'emporter l'adhésion : le caractère subatomique des corpuscules ne convainc guère. Si les étudiants de Thomson l'adoptent avec enthousiasme - jusqu'à en faire le thème de chansons à boire déclamées dans les pubs de Cambridge — le scepticisme est général hors du Cavendish. De nombreux Anglais ignorent cette dimension du corpuscule : Campbell Swinton, par exemple, écrit en 1898 que le problème est maintenant de savoir « *si ces particules matérielles sont des atomes isolés, des molécules isolées, ou de plus grands agrégats de matière* ». D'autres estiment que la conception thomsonienne est intéressante, prometteuse, mais empiriquement non démontrée.



Fig. 3: George Francis FitzGerald (1851-1901), qui fit toute sa carrière au Trinity College de Dublin, appartenait au réseau informel de physiciens revendiquant le nom de maxwelliens. A la différence de J. J. Thomson, ils n'hésitèrent pas à réformer profondément l'héritage du père de la théorie électromagnétique.

Cette inefficacité persuasive permet à FitzGerald de traire et de s'appropriier les expériences de Thomson. Dès 1897, il suggère que les particules cathodiques ne sont pas des « corpuscules », mais des « électrons » : « C'est presque l'hypothèse du professeur J. J. Thomson, à la différence qu'elle ne fait pas de l'électron une partie constitutive de l'atome, ni que nous dissociions les atomes, ni que nous sommes sur les traces des alchimistes ». Thomson se serait-il à ce point égaré qu'il puisse être associé aux alchimistes ? Pour FitzGerald en effet, si les atomes sont de simples assemblages de corpuscules et s'ils peuvent se dissocier, alors leur identité chimique peut varier, ce qui apparaît bien comme une régression vers l'alchimie et la transmutation des éléments. L'électron, présent occasionnellement dans l'atome mais ne participant pas à sa constitution, permet au contraire de conserver un atome insécable. Pour FitzGerald et Larmor, les expériences de Thomson représentent un atout de taille. Convenablement réinterprétées, elles apportent une deuxième confirmation expérimentale à leur théorie, la première étant constituée par l'effet Zeeman. Ce phénomène, isolé en 1896, exhibe l'effet du champ magnétique sur le spectre lumineux : il trouve une explication simple dans le système de Larmor qui l'attribue à la perturbation, par le champ magnétique, du mouvement des électrons responsable de l'émission de lumière ^a.

^a G. FitzGerald, Dissociation of atoms, *The Electrician*, **39**, 103-104, 1897.

Ironie de l'histoire, Thomson lui-même s'oppose farouchement à l'identification de la particule cathodique avec l'électron de FitzGerald et Larmor. En 1899, il publie une critique sévère de ce qu'il appelait « *the electron view* »¹¹. Celle-ci, concède-t-il, permet de conserver un atome insécable.

¹¹ J. J. Thomson, Note on Mr. Sutherland's paper on the cathode rays, *Philosophical Magazine*, **6** (47), 415-416,

Mais elle implique « *qu'une charge électrique puisse exister indépendamment de la matière, ce dont il existe aussi peu de preuve directe que de la divisibilité de l'atome* ». En clair, son hypothèse n'est ni plus ni moins spéculative que sa rivale. Et son propre « corpuscule », insiste-t-il, dépasse l'électron par sa simplicité conceptuelle et par sa fécondité explicative. Têtu, Thomson utilisera durablement le mot « corpuscule » pour désigner la particule cathodique. Malgré des critiques répétées, il refusera d'employer à la place le mot « électron » jusque vers 1911-1912, c'est-à-dire près de quinze ans après sa « découverte » et plus de cinq ans après son prix Nobel ! A ce moment, cette habitude avait fini par le faire percevoir comme un vieil original, attaché à des conceptions désuètes et s'obstinant, pour citer Oliver Heaviside, à « *suivre Maxwell servilment* »¹².

Auparavant, la présence d'interprétations concurrentes et le caractère non décisif de ses expériences avaient conduit Thomson à approfondir ses travaux. Avec ses élèves du Cavendish Laboratory, il avait entrepris de mesurer le rapport e/m pour les particules émises par les métaux dans divers effets thermioniques et photoélectriques. Obtenant des valeurs proches des rayons cathodiques, les physiciens du Cavendish affirmèrent que les métaux émettaient donc eux aussi des « corpuscules » dans des circonstances expérimentales très variées. Ainsi le corpuscule, annoncèrent-ils, se manifestait dans bien d'autres phénomènes que les rayons cathodiques. En 1899, en expérimentant sur l'effet photoélectrique, Thomson parvient enfin à mesurer séparément e et e/m . Cela lui permet de calculer pour la première fois la masse m du corpuscule, qui s'avère être de l'ordre du millième de celle de l'atome d'hydrogène. S'appuyant sur ces derniers résultats, Thomson affirme à nouveau que le corpuscule est bien un produit de dissociation de l'atome¹³.

Malgré les efforts de Thomson, le caractère universel et subatomique des particules cathodiques ne sera pas immédiatement accepté. Et surtout ceci ne s'accomplit qu'après la totale disparition de ses chers « corpuscules » au profit des nouveaux « électrons ». Cette transformation est un processus éminemment complexe. On peut y repérer trois développements décisifs, trois transformations intellectuelles et sociales qui, traversant la physique au tournant du siècle, contribuent à la consolidation de l'électron.

Le premier est le programme de synthèse électromagnétique. A partir de 1900, en Allemagne, les physiciens Wilhelm Wien et Max Abraham, reprenant une proposition de Larmor et Wiechert, suggèrent que la masse des objets matériels soit entièrement d'origine électromagnétique. Dès lors, les théories électroniques de Larmor et Lorentz, convenablement aménagées, peuvent conduire à une complète refondation de la physique, reposant non plus sur la « vieille » mécanique mais sur l'électromagnétisme. Nombre de théoriciens et d'expérimentateurs s'engagent dans l'entreprise, parmi lesquels Henri Poincaré et Paul Langevin. Adopter ce nouveau cadre théorique impose de reconnaître les fondements de ces théories, c'est-à-dire le champ électromagnétique et les électrons. Ces derniers bénéficient donc de l'engouement international pour des schémas conceptuels dont ils sont les entités fondamentales.

1899. La citation complète est :

Aussi loin que je puisse voir, le seul avantage de la « vue de l'électron » [recourant au tourbillon d'éther] est qu'elle évite la nécessité de supposer les atomes dissociés : elle a le désavantage que pour expliquer des propriétés des rayons cathodiques tels que la loi d'absorption de Lenard, qui se déduit directement de l'autre vue [corpusculaire], il faut faire hypothèse après hypothèse : elle suppose qu'une charge d'électricité peut exister indépendamment de la matière, de laquelle il y a peu d'évidence de la divisibilité de l'atome : et elle conduit à la conception selon laquelle les rayons cathodiques peuvent être produits sans interposition de matière par la dissociation de neutrons [immatériels composés d'une paire de particules chargées, l'une positivement et l'autre négativement] en électrons.

Voir à ce sujet George E. Smith, J. J. Thomson and the electron : 1897-1899 An introduction, *The Chemical Educator*, **2** (6), 1-42, 1997.

¹² Stuart M. Feffer, Arthur Schuster, J.-J. Thomson, and the discovery of the electron, *Historical Studies in the Physical Sciences*, **20** (1), 33, 1989.

¹³ Nadia Robotti, J. J. Thomson at the Cavendish Laboratory : the history of an electric charge measurement, *Annals of Science*, **52** (3), 265, 1995.

Le deuxième mouvement crucial pour l'électron est l'apparition de la radioactivité comme nouvelle spécialité à l'intérieur de la physique. Les phénomènes rapportés par les physiciens de la radioactivité procurent en effet une assise empirique croissante aux théories électroniques.

Les premiers congrès internationaux contribuent à former de nouveaux réseaux, à standardiser procédures et résultats

En particulier, la valeur de e/m pour les rayons β est voisine de celle des rayons cathodiques, ce qui montre que les électrons sont spontanément émis par la matière. Ces rayonnements deviennent bientôt le phénomène privilégié permettant l'étude expérimentale des électrons. C'est par des mesures de e/m sur les rayons cathodiques et sur les rayons β que W. Kaufmann et son élève S. Simon essayent de départager les principales formules théoriques proposées pour la masse de l'électron : celle de Lorentz et Albert Einstein, celle d'Abraham, et celle de A.H. Bucherer et Langevin. En 1906, ils retiennent finalement les deux dernières. Dix ans plus tard, les raisons de leur choix seront attribuées à une erreur expérimentale...

Le troisième mouvement, plus général que les deux précédents et bien connu des historiens des sciences, est le processus d'internationalisation de la physique qui s'engage à la fin du XIXe siècle. Le premier congrès international de la discipline a lieu à Paris en août 1900, suivi par celui de Saint Louis en 1904 et par les deux premiers congrès Solvay de 1911 et 1913. Ces grands rassemblements, de même qu'une circulation accrue des étudiants doctoraux et des revues scientifiques, contribuent à désenclaver les communautés nationales, à former de nouveaux réseaux, à standardiser procédures et résultats. Cette homogénéisation des cadres institutionnels et intellectuels de la physique profite incontestablement à l'électron ¹⁴.

Décrire plus précisément ce processus impose de différencier selon les milieux et les groupes de physiciens. Le réseau des anciens élèves de Thomson constitue un premier exemple. Après un séjour d'un an ou deux au Cavendish Laboratory, ceux-ci quittent Cambridge pour s'établir professionnellement en Grande-Bretagne ou à l'étranger. Cette « diaspora » permet l'implantation de la *Cavendish physics* dans plus d'une dizaine de pays et donne naissance à un nouveau réseau international. Dans leurs publications scientifiques, ces physiciens reprennent tout d'abord la terminologie thomsonienne. Par exemple, dans la thèse qu'il soutient en 1902, Langevin écrit : « *nous conservons pour ces particules cathodiques le nom de corpuscule proposé par le professeur J.J. Thomson. Celui d'électron, également usité, est souvent employé dans un sens un peu différent.* » Cette marque d'allégeance se retrouve chez la plupart des anciens condisciples de Langevin au Cavendish Laboratory, comme Ernest Rutherford ou John Townsend.

Depuis leur séjour à Cambridge, ces physiciens partagent les valeurs associées à la microphysique et au réductionnisme. Ils font preuve d'un net engouement pour les hypothèses atomistes et ont le souci permanent d'expliquer les phénomènes observables par les micro-constituants de la matière. Le pouvoir de synthèse des nouvelles théories électroniques éveille leur intérêt et bientôt leur enthousiasme. Un des moments forts de cette évolution est la préparation par Langevin et Rutherford du congrès international de Saint-Louis en 1904. Dans une lettre, Rutherford propose d'écrire lui-même un rapport sur la radioactivité, et convie Langevin à préparer un exposé sur les « *elektrons* » (l'orthographe allemande marquant l'étrangeté du nouvel objet pour un disciple de Thomson). Le texte de Langevin a l'enthousiasme des convertis. Il défend ardemment la nouvelle physique des électrons, la présentant comme « *une Amérique nouvelle, où l'on respire à l'aise, qui sollicite toutes les activités et qui peut enseigner beaucoup de choses au Vieux Monde* ». Cette attitude se généralise progressivement chez les anciens étudiants de Thomson. En 1915, Townsend publie par exemple un traité sur les rayonnements et sur les gaz ionisés. Ce livre se présente comme

¹⁴ Anne Rasmussen, Jalons pour une histoire des congrès internationaux au XIXe siècle, *Relations Internationales*, 62, 115, 1990.

une mise à jour de la somme de J. J. Thomson, *Conduction of Electricity through Gases*, dont la dernière et deuxième édition remontait à 1906. Le mot « corpuscule » n'y figure plus, prenant acte de sa disparition définitive au profit des « électrons ».

Dans les années 1900-1910, plusieurs Français expérimentent sur les rayons cathodiques. Le cas de ces physiciens donne à voir une autre modalité historique d'émergence de l'électron. Leur travail expérimental se cantonne aux propriétés empiriquement observables du rayonnement et la plupart ignorent purement et simplement les expériences anglaises et allemandes. Assez représentatifs du positivisme et de l'aversion française envers l'atomisme, ils évitent de les interpréter en termes de particules microscopiques. En 1900, Paul Villard écrit par exemple un rapport sur les travaux de Thomson sans faire la moindre référence aux atomes. Trait marquant de cette lecture non atomiste, Villard n'emploie jamais le mot « corpuscule », lui préférant celui de « particule » ou de « projectile cathodique ». Villard rapporte la valeur de e/m , mais n'en dégage aucune implication concernant le caractère subatomique de la particule. Au contraire, il s'approprie les résultats de Thomson pour soutenir sa propre interprétation, publiée en 1898, selon laquelle les rayons cathodiques sont... des particules d'hydrogène en mouvement. La constance de e/m , affirme Villard, démontre celle de la substance composant la particule cathodique. De plus, les effets chimiques des rayons attestent que cette substance est de l'hydrogène. Tout l'argumentaire de Villard se déploie dans un cadre non atomiste, se limitant aux résultats, aux concepts et aux formes de démonstration admis en France. Comme FitzGerald en 1897, Villard traduit les assertions de Thomson dans son propre espace cognitif et social, et les utilise pour accréditer sa propre conception.



Fig. 4: Excellent expérimentateur, Paul Villard (1860-1934) tire profit de sa formation initiale de chimiste pour étudier les rayons cathodiques à partir de 1898. A cette époque, il affirme que ce sont des particules d'hydrogène en mouvement. En 1904, l'Académie des sciences lui décerne un prix pour l'ensemble de ses travaux avant de l'accueillir en son sein en 1908.

Les Français se convertissent assez brusquement aux approches électroniques, notamment Henri Pellat en 1904 et Villard en 1906. Ce dernier affirme alors que « *la théorie électromagnétique des phénomènes cathodiques constitue un progrès considérable, le plus grand qui ait été réalisé dans cette branche de la physique depuis les travaux de Sir W. Crookes* ». Ces déclarations s'accompagnent de nombreux ajustements dans les pratiques scientifiques, dans la terminologie (le mot « corpuscule » devenant couramment employé), dans la conceptualisation (Villard propose une théorie électronique de l'aurore boréale), dans la légitimation des résultats (les articles sont désormais écrits sur le mode hypothético-déductif et non plus inductif) et dans le regard porté sur les travaux antérieurs (Pellat réinterprète toutes ses recherches passées comme portant sur les « corpuscules »). Sans nier la sincérité de ces conversions, on ne peut que constater qu'elles restaurent une visibilité et une crédibilité sérieusement amoindries sur le plan international ^a.

^a Benoît Lelong, Paul Villard, J. J. Thomson et la composition des rayons cathodiques, *Revue d'Histoire des Sciences*, **50** (1-2), 89, 1997.

Ainsi, un consensus ne se forme autour de l'électron — et de sa présence au sein des rayons cathodiques — qu'une dizaine d'années après les expériences de Thomson. Comprendre ce processus nécessite l'abandon d'un modèle de type diffusionniste, selon lequel la vérité, découverte en 1897

à Cambridge, se propagerait en ayant peu à peu raison des préjugés et des pesanteurs locales. Ce qui se dégage au contraire de l'analyse, c'est une longue série de conflits et de négociations, de traductions et d'appropriations, où l'électron finalement stabilisé diffère en plusieurs points de chacune des particules initialement proposées par les protagonistes ¹⁵.

Cette stabilisation, il importe de le préciser, fut partielle. Entre l'électron relativiste d'Einstein, l'électron quantique de l'école de Copenhague, l'électron de la chimie physique ou celui du laboratoire industriel de Langmuir à la General Electric, les différences frappent tout autant que les similitudes. L'électron, en somme, est devenu un « objet-frontière ¹⁶ » : suffisamment malléable pour pouvoir se prêter localement à des significations et des pratiques spécifiques, mais suffisamment robuste pour permettre l'accord et la coopération entre communautés distinctes — pour que toutes puissent convenir qu'elles parlent bien d'un même objet « réel » tout en préservant leurs spécificités. Au fur et à mesure que l'électron se stabilisa, les physiciens, en bonne logique méritocratique, lui cherchèrent un découvreur. Le choix de Thomson ne s'imposait pas au départ, et les noms de Wiechert, Kaufmann, Perrin et Zeeman furent proposés en concurrence avec le sien. Ces « découvreurs » alternatifs subsistèrent longtemps dans leurs espaces nationaux respectifs et ne disparurent définitivement qu'au cours de l'entre-deux-guerres.

La cristallisation finale autour de Thomson et de ses expériences de 1897 procéda de plusieurs logiques. Un élément crucial fut le statut démonstratif et pédagogique de la mesure de e/m par déviation magnétique et électrique. Cette mesure devint la procédure standard d'identification de l'électron. Elle devint également une expérience de cours très classique, une « manipe » systématiquement exécutée devant les étudiants de physique pour leur présenter les électrons. Rétrospectivement, Thomson apparut comme l'un des premiers à l'avoir utilisée — ceci fut manifeste lors de l'attribution de son prix Nobel en 1906. Les anciens étudiants de Cambridge jouèrent également un rôle décisif. Le Cavendish constituait à leurs yeux un haut lieu de la recherche de pointe. Ils y avaient côtoyé Thomson et assisté à la progression de ses expériences et de ses spéculations sur la structure de l'atome. Quand l'électron fut stabilisé, ils eurent la conviction que leur ancien maître en était le découvreur et qu'ils avaient été les spectateurs privilégiés de sa découverte. Ils en témoignèrent, notamment Rutherford, dans les traités de physique qu'ils écrivirent par la suite et dans leurs publications commémoratives et biographiques.

Tous ces éléments contribuèrent à la tardive émergence de la « découverte de l'électron ». Celle-ci devint, en quelque sorte, un mythe fondateur. Un mythe dont il faut se déprendre aujourd'hui pour saisir comment l'électron en est venu à faire partie de notre monde.

¹⁵ Simon Schaffer, Scientific discoveries and the end of Natural Philosophy, *Social Studies of Science*, **16**, 387, 1986.

¹⁶ Susan Leigh Star et James R. Griesemer, Institutional Ecology, "translations" and boundary objects : amateurs and professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-1939, *Social Studies of Science*, **19**, 387, 1989.

Questions

1. Quels sont les résultats antérieurs à ceux de Perrin et Thomson qui ne sont pas rappelés dans cet article ?

Des contributions majeures à la « quête de l'électron » ignorées dans cet article sont celles de Eugen Goldstein (Allemand) et de Williams Crookes (Angleterre). Ces deux scientifiques avaient déjà des faits expérimentaux « militant » en faveur de particules plus petites que celle de l'hydrogène. Pour ces deux scientifiques, il s'agissait d'un constituant sub-atomique, soit une particule plus petite qu'une « molécule » (molécule étant alors utilisée indifféremment pour molécule, atome ou élément) pour Goldstein, soit d'un nouvel état dissocié de la matière pour Crookes. Goldstein avait utilisé l'estimation du libre parcours moyen de ces nouvelles particules qui donnait des valeurs nettement supérieures à celle que devrait prendre des atomes d'hydrogène.

2. Quel est l'argument utilisé par Heinrich Hertz qui est clairement réfuté par Thomson.

Avec ses expériences finement menées, Thomson parvient à démontrer que c'est en raison d'un « vide insuffisant », c'est-à-dire une pression trop élevée au sein du tube, que le physicien allemand n'était pas parvenu à obtenir une déviation électrostatique des rayons cathodiques. Plus rien ne s'oppose alors à ce que les rayons cathodiques soient constitués de particules et non d'ondes.

3. Comparez le vocabulaire utilisé par Lelong concernant les résultats de Wiechert à celui associé à ceux de Thomson ?

Thomson *mesure et conclue* tandis que Wiechert *affirme et suggère*. De plus, l'article de Wiechert n'était que suggéré comme étant « *publié dans une revue peu prestigieuse et mal distribuée* », à savoir *Schriften der physikalischökonomisch Gesellschaft zu Königsberg*, alors que celui de Thomson est complètement référencé. Il y a donc un choix délibéré, d'ailleurs revendiqué quelques lignes plus loin, de ne pas détailler les travaux antérieurs à ceux de Thomson : « *on ne tentera pas ici d'exhumer des co-découvreurs* ».

4. Quel est le paradigme selon lequel Benoît Lelong interprète les différentes contributions ? Quelle confusion possible sur les noms pourrait justifier ce choix ?

Pour B. Lelong, la production scientifique s'inscrit nécessairement dans la dominante nationale : à ce titre, il reproduit l'erreur de Perrin qui rangeait tous les britanniques comme défendant la théorie corpusculaire et les allemands comme argumentant pour une théorie ondulatoire. Ainsi Perrin avait placé Goldstein, partisan de rayons cathodiques corpusculaires, aux côtés de Hertz et Lenard, défendant une conception ondulatoire. Il est assez surprenant de voir que Lelong présente la théorie britannique dominante comme prônant l'électron comme une « singularité de l'éther » ou comme un « tourbillon d'éther ». Il semble qu'ici Lelong ne distingue pas William Thomson — Lord Kelvin — de Joseph Thomson, le premier ayant développé une théorie atomique reposant sur des vortex d'éther, le second n'ayant jamais partagé une telle conception puisqu'étant parti initialement sur l'analogie des aimants de Mayer. Par ailleurs, Lelong oublie les contributions de Crookes et Stoney, tous deux britanniques, et qui étaient des partisans d'une théorie corpusculaire. L'hypothèse d'une théorie nationale dominante semble donc bien faible.

5. Quelle justification apporte Lelong à la réticence de J. J. Thomson à utiliser le terme d'*électron* et non plus celui de corpuscule ? Est-ce cohérent avec l'hypothèse du « paradigme national » ?

Thomson ayant adopté depuis le début les conceptions corpusculaires développées par Crookes et Stoney, britanniques eux aussi, c'est tout naturellement qu'ils s'opposent aux « Maxwelliens ». Ces derniers prennent appuis sur la terminologie d'*électron* introduite par Stoney pour désigner les singularités de léther. L'unicité de l'approche britannique n'apparaît donc pas justifiée. Il en est de même pour une approche unique Allemande puisque Eugen Goldstein militait pour des constituant sub-atomiques (1876) et ne s'insérait donc pas dans les conceptions ondulatoires de Hertz et Lenard (qui ne représente guère plus qu'un maître et son élève).

6. Pouvez-vous identifier dans quel texte J. J. Thomson définit « *la charge de l'électron comme étant un effet de bord survenant à la surface de séparation entre l'éther matériel et l'éther immatériel* » ?

Aucune trace de cette citation n'est trouvée dans les textes de J. J. Thomson. Notons que l'auteur ne fournit pas de référence pour cette citation.

7. Quel est le texte de 1902 qui établit l'acceptation relativement large de la notion d'électron ? Quels sont les scientifiques et leur nationalité qui sont cités ?

Il s'agit de l'article intitulé « The existence of bodies smaller than atoms » publié par Ernest Rutherford sous la référence *Royal Society of Canada*, **8**, 79-86, 1902. Les « nombreux physiciens éminents » qui ont accepté l'électron sont (selon Rutherford) :

- Hendrick Lorentz (Hollandais) ;
- Pieter Zeeman (Hollandais, élève de Lorentz) ;
- Henri Poincaré (Français) ;
- Henri Becquerel (Français) ;
- William Thomson (Anglais) ;
- John Joseph Thomson (Anglais) ;
- Arthur Schuster (Anglais) ;
- Oliver Lodge (Anglais) ;
- Paul Drude (Allemand) ;
- Woldemar Voigt (Allemand) ;
- Eduard Riecke (Allemand).

Comme cette liste le montre, il y a plusieurs conceptions de l'électron (notamment celle des tourbillons d'éther de William Thomson), mais on remarque que ne sont pas mentionnés Heinrich Hertz et Philip Lenard. On pourrait également relever l'absence de Eugen Goldstein et Williams Crookes.

8. Comparez l'assertion « *une charge électrique puisse exister indépendamment de la matière, ce dont il existe aussi peu de preuve directe que de la divisibilité de l'atome* » à la citation complète et au contenu de l'article intitulé « On the masses of the ions in gases at low pressures » publié J. J. Thomson sous la référence *Philosophical Magazine*, **5** (48), 547-567, 1899.

Dans l'article de Lelong, on comprend que le point de vue « électron » est finalement associé aux tourbillons d'éther et qu'il n'implique pas la subdivision de l'atome. Dans la citation complète de Thomson, il est clair que celui-ci ne défend pas cette conception, notamment parce qu'elle ne peut expliquer clairement — sans multiplication des hypothèses — la loi d'absorption de Lenard. Par ailleurs, puisque les électrons sont plutôt immatériels lorsqu'ils émanent de l'éther, rien ne présuppose la divisibilité de la matière.

Si l'on reprend l'article de la même année cité ci-dessus, il n'y a aucune ambiguïté sur les conceptions corpusculaires de Thomson :

« Je regarde l'atome comme contenant un grand nombre de petits corps que j'appellerai corpuscules ; ces corpuscules sont égaux entre eux ; la masse d'un corpuscule est la masse de l'ion négatif dans un gaz à basse pression, c'est-à-dire

environ $3 \cdot 10^{-26}$ gramme. Dans l'atome normal, cette assemblage de corpuscules prend la forme d'un système électriquement neutre. Bien que les corpuscules individuels se comportent comme des ions négatifs, lorsqu'ils sont assemblés dans un atome neutre, l'effet négatif est contrebalancé par quelque chose qui produit l'espace à travers lequel les corpuscules sont éparpillés de telle manière qu'ils aient une charge d'électricité positive égale en quantité à la somme des charges négatives. »

9. Quel message Benoît Lelong voudrait faire passer dans ce paragraphe ? Justifiez et commentez.

Lelong veut utiliser la citation tronquée de J. J. Thomson pour montrer que celui-ci « s'oppose farouchement à l'identification de la particule cathodique avec l'électron de Fitzgerald et Larmor ». Ce qui est vrai. Mais l'enchaînement entre la citation et la phrase suivante est peu logique et l'on ne comprend pas bien de quelle hypothèse il est ensuite question. La citation restaurée dans sa version complète révèle que la conception corpusculaire nécessite moins d'hypothèses que les tourbillons d'éther : ce simple constat offre un avantage clair à l'hypothèse corpusculaire de Thomson. Si Thomson s'entête ensuite à ne pas utiliser le terme *électron*, c'est pour éviter toute confusion entre ses conceptions et celles de ses collègues britanniques, Fitzgerald, Larmor, etc. Il persiste jusqu'à ce que l'ambiguïté de la signification du terme *électron* soit finalement levée.

Ce que voulait démontrer Lelong, c'est qu'il y avait un certain positionnement « national » duquel finalement J. J. Thomson avait du mal à se départir. La restitution de la citation complète ne plaide pas en faveur de cette approche.

10. Un long passage est consacré à Paul Villard qui entra à l'Académie des Sciences en 1908. Voici deux des passages clés pour cette étude ¹⁷ :

Les propriétés physiques et chimiques de l'hydrogène font déjà de ce gaz un corps à part dans la série des éléments ; il n'est donc nullement invraisemblable d'admettre qu'il possède, et cela exclusivement, la propriété de pouvoir donner des rayons cathodiques.

et ¹⁸ :

[...] de véritables rayons cathodiques [...] qui] sont électrisés négativement. [...] Il est permis d'admettre qu'au contact d'un obstacle les particules électrisées en mouvement, qui constituent les rayons cathodiques, se diffusent partiellement en tous sens, conservant, en partie au moins, leurs charges et leur énergie cinétique. De cette diffusion résultent de nouveaux rayons se propageant à peu près rectilignement parce que le champ est très faible dans la région où ils se forment ; à part leur mode particulier d'émission ils sont identiques aux rayons directs et comme eux représentent les trajectoires de particules d'hydrogène électrisé.

Quelle conclusions tirez-vous de ces deux passages de Paul Villard sur la constitution des rayons cathodiques ? Est-ce en accord avec ce qui est rapporté dans l'article de Lelong.

Le premier extrait présente l'hydrogène comme étant à l'origine des rayons cathodiques. Mais l'identification de ces rayons à l'hydrogène n'est pas faite. Dans le second extrait, les rayons cathodiques sont assimilés à des particules d'hydrogène électrisé. En 1898, il n'est pas bien clair ce que représente de l'hydrogène électrisé : cela peut être un ion hydrogène, mais cela pourrait être également un électron, produit de la dissociation de l'hydrogène. Cette dernière interprétation se justifie dans la mesure où les rayons

¹⁷ P. Villard, Sur les rayons cathodiques, *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, **127**, 1564-1566, 1898.

¹⁸ P. Villard, Sur la diffusion des rayons cathodiques, *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, **128**, 223-225, 1898.

sont identifiés comme étant électrisés négativement et qu'il n'est pas fait mention ici du résultat de Thomson sur le rapport e/m . Là encore, nous pouvons être interrogatif sur les interprétations de B. Lelong.