Document généré le 23 avr. 2024 18:32

HSTC Bulletin
Journal of the History of Canadian Science, Technology and Medecine
Revue d'histoire des sciences, des techniques et de la médecine au Canada

hstc bulletin

La Physique à McGill entre 1920 et 1940
La réception de la mécanique quantique par une communauté scientifique périphérique

Yves Gingras

Volume 5, numéro 1 (17), janvier 1981

URI : https://id.erudit.org/iderudit/800094ar
DOI : https://doi.org/10.7202/800094ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

HSTC Publications

ISSN

0228-0086 (imprimé)
1918-7742 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Gingras, Y. (1981). La Physique à McGill entre 1920 et 1940 : la réception de la mécanique quantique par une communauté scientifique périphérique. *HSTC Bulletin*, *5*(1), 15–39. https://doi.org/10.7202/800094ar

Tout droit réservé © Canadian Science and Technology Historical Association / Association pour l'histoire de la science et de la technologie au Canada, 1981

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

érudit

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

LA PHYSIQUE A MCGILL ENTRE 1920 et 1940:

LA RECEPTION DE LA MECANIQUE QUANTIQUE

PAR UNE COMMUNAUTE SCIENTIFIQUE PERIPHERIQUE

Yves Gingras*

(Reçu le 2 septembre 1980. Modifié/accepté le 17 décembre 1980.

INTRODUCTION

La physique à l'Université McGill n'a pas souvent fait l'objet d'études de la part des historiens des sciences. Mise à part la période "héroïque" reliée à la présence de Rutherford entre 1898 et 1907, et qui a fait l'objet d'un certain nombre d'études[1], on peut se demander pourquoi il n'existe pas de travaux portant sur la période "post-Rutherford".

La réponse à cette question vient rapidement à l'esprit et consiste à dire que ce n'est pas, ou du moins ce n'est plus[2], un "grand" centre de recherches; que les découvertes "révolutionnaires" se font ailleurs et que c'est sur la base de ces centres privilégiés que fleurissent les travaux des historiens quand ce n'est pas sur celle des grands physiciens eux-mêmes. Cette insistance sur les grands centres de recherche est liée à une conception de l'histoire des sciences qui met l'accent sur l'étude de la production de nouveaux concepts au détriment de leur reproduction.[3] Privilégiant ainsi une minorité dans cette majorité souvent nommée "communauté scientifique."

Notre intention dans cette étude est d'explorer quelques voies permettant de mieux comprendre le processus d'assimilation des théories par cette "majorité silencieuse" et ce en abordant un cas concret, soit celui de la réception de la mécanique quantique à l'Université McGill entre 1920 et 1940. Plus précisément, en étudiant comment s'est modifié le fonctionnement du département de physique à la suite de l'élaboration de la mécanique quantique au début de 1926. Notre but n'est pas de nous attarder sur les détails des contributions scientifiques des physiciens de McGill mais plutôt de voir comment leur milieu de formation et leur itinéraire intellectuel ont conditionné leur réaction face à la mécanique quantique.

Après avoir précisé la situation au département de physique à la veille de l'arrivée de John Stuart Foster, la section suivante montrera comment Louis Vessot King a développé une théorie classique des atomes, conformément à une conception

*Université de Montréal

mécaniste de la nature héritée de J. J. Thomson.[4] La section 3 discutera des réactions suscitées par la théorie de King alors que la suivante montrera comment les physiciens ont développé un nouvel intérêt pour la philosophie, généralisant ainsi aux périphéries la thèse de Kuhn selon laquelle une période de crise des fondements d'une science voit l'émergence d'un discours philosophique sur cette science.[5] La section 6 étudiera les thèses présentées au département de physique durant la période 1920-1940 pour voir comment la production du savoir est affectée par la réception de la mécanique quantique à McGill. Avant de conclure par une comparaison du cas étudié avec la situation prévalant alors en Angleterre on discutera de l'apport de William H. Watson, premier membre du département a "avoir pratiquement grandi avec la nouvelle théorie quantique"[6], ce qui permettra de constater que McGill n'était pas un milieu propice pour les théoriciens.

La période qui nous intéresse débute avec l'engagement de John Stuart Foster en mai 1924, comme assistant professor de physique.[7] Foster qui est alors à l'Université Yale aux Etats-Unis, où il a obtenu son Ph.D. en 1921, est originaire de Nouvelle-Ecosse. Cet engagement survient après que Arthur Stewart Eve, alors directeur du département de physique depuis 1919, eut contacté Ernest Rutherford à Cambridge, William Bragg à Londres et Charles Darwin à Edimbourg pour qu'ils lui conseillent un candidat capable d'occuper ce nouveau poste.[8] Ceux-ci répondent qu'ils ne voient personne en ce moment pouvant combler ce poste. Ainsi le manque de relève du côté de l'Angleterre explique l'engagement de Foster, qui constitue une rupture avec la tradition qui consiste à recruter des professeurs formés aux grandes universités britanniques.

A ce moment, la physique à l'Université McGill suit une voie essentiellement classique. Les travaux ont surtout pour objet l'électromagnétisme et l'acoustique avec King et Bieler, les propriétés de la glace et la météorologie avec Barnes. En somme, on s'occupe essentiellement de physique appliquée. En effet, comme l'a montré Heilbron; Rutherford, lors de son séjour à McGill, n'a pu former d'école et son départ marque aussi la fin de la recherche de pointe en physique atomique à McGill.[9] Ainsi Etienne Bieler qui fit son Doctorat sous sa direction à Manchester en 1923 s'oriente vers la géophysique et le magnétisme lors de son retour à McGill. Le déclin de la recherche en physique à cette institution a été analysé par Pyenson dans une étude qui montre l'importance du recrutement, de la formation et du placement des jeunes scientifiques lors de l'établissement d'une discipline dans un nouvel environnement.[10]

Ainsi, à son arrivée à Montréal, on peut dire que Foster introduit un nouveau domaine de recherche. Ses travaux sur l'effet Stark se situent en effet au centre de la recherche en physique atomique qui consiste alors à accumuler des

données sur les propriétés des atomes simples soumis à des champs électriques et magnétiques. En somme, on a le sentiment que la situation de la physique à McGill est alors semblable à celle régnant dans un grand nombre d'institutions américaines et européennes.[11]

UNE ALTERNATIVE A LA MECANIQUE QUANTIQUE: LOUIS VESSOT KING ET L'ELECTRON GYROMAGNETIQUE

Au moment même où paraissent les mémoires de Erwin Schrödinger, dans le numéro d'avril 1926 de la revue *Annalen der Physik*, présentant l'équation d'onde qui porte aujourd'hui son nom, Louis Vessot King, alors âgé de 40 ans, énonce sa nouvelle théorie de "l'électron gyromagnétique" devant la Société de Physique de McGill au cours de la séance du 16 avril. Le but premier de cette théorie originale est d'expliquer de façon purement classique (i.e. à partir des équations de Maxwell et de la dynamique de Hamilton) tous les phénomènes dits "quantiques".

L'itinéraire intellectuel de King, considéré comme l'un des plus brillants physiciens-mathématiciens canadiens, le conduit tout droit vers ce genre de solutions.[12] Né à Toronto en 1886, il fait ses études à McGill entre 1901 et 1905. Dès 1904, sous l'influence de Rutherford, il s'intéresse à la structure des atomes. Il étudie alors les travaux de William Thomson (Lord Kelvin) sur les "vortex" produits dans un fluide parfait. A cette époque, l'analogie hydrodynamique est souvent utilisée pour mieux comprendre le champ électromagnétique.[13] Fasciné par ces travaux, il réussit, lors d'un séjour à Londres au Finsbury Technical College à l'été 1906, à produire expérimentalement des anneaux de fumée en rotation dont la configuration est stable. Occupé à la préparation de ses examens, ce n'est qu'à l'été 1908, lors d'un séjour à Montréal, qu'il reprend ses travaux. L'étude de ces vortex dans l'eau confirme ses résultats de 1906 et le 30 septembre 1908 il présente ces expériences devant la Société de Physique de McGill lors d'un exposé intitulé: "Vortex rings and the vortex theory of Matter".[14] De retour à Cambridge avec ses appareils, il présente ses résultats devant la Cambridge Philosophical Society. Séjournant à Paris lors de ses vacances des Fêtes, il est invité par des physiciens français à présenter ses expériences devant la Société Française de Physique. Cependant, les règles de l'Université de Cambridge étant assez strictes en ce qui a trait à la présence aux cours des étudiants, King doit refuser l'invitation.

Toutes ces discussions stimulantes encouragèrent King à développer ses idées, ce qu'il fit en rédigeant en janvier 1909 un mémoire intitulé "On the possibilities of a vortex electron theory of matter" et soumis en compétition pour l'obtention de la Bourse "Isaac Newton".[15] Occupé à préparer de nouveaux examens et conscient des limites de ce modèle qui ne peut donner une interprétation adéquate de la

propagation de la lumière, King abandonne le sujet. De retour à McGill et devenu professeur associé en 1915, puis "Macdonald professor" de physique en 1920, il consacre ses travaux aux applications de l'électromagnétisme ainsi qu'à l'acoustique.[16]

Ce n'est qu'au début de 1926 que King revient sur le sujet et ce après avoir assisté à une conférence publique pour les enfants, donnée par Arthur Stewart Eve directeur du département de physique, à l'occasion de Noël, et ayant pour titre "Things that spin". En effet, l'idée de l'électron gyromagnétique" lui vient lors d'une expérience effectuée par Eve où une balle de tennis en rotation dans un jet d'air émet un son dû à sa propre vibration. L'analogie avec l'émission des ondes électromagnétiques est alors immédiate: c'est la vibration de l'électron en rotation qui occasionne l'émission d'ondes électromagnétiques. Il reste maintenant à développer cette idée de façon plus formelle et c'est à cette tâche que King, muni de son mémoire de 1909, consacre le début de la nouvelle année.

Le travail de King consistera à lier la "constante de Planck" (qu'il évite d'ailleurs de nommer ainsi[17]) à cette rotation de l'électron sur lui-même. Sans entrer dans les détails compliqués, mentionnons qu'il réussit par une série d'arguments purement classiques à déduire la loi de l'effet photoélectrique d'Einstein, la loi de Planck ainsi qu'une théorie de la chaleur spécifique des solides, résultats qui, jusqu'à ce jour, étaient considérés comme typiquement "quantiques".

Au moment où King présente ses travaux devant la Société de Physique de McGill, la mécanique quantique de Heisenberg est déjà publiée (fin de 1925) ainsi que les travaux de Dirac (début de 1926). Pourtant, nulle part King ne fait mention de cette mécanique quantique ni de la relativité: Pourquoi? L'auteur répond à cette interrogation dans une lettre à Oliver Lodge, datée du 26 juillet 1926 dans laquelle il mentionne qu'il n'emploie pas les mots "quantum", "relativité" ou le vocabulaire associé, pour éviter un conflit entre groupes d'idées différents.[18] Dans une lettre écrite cinq jours plus tard à l'éditeur de *Nature*, il dit:

> "To avoid confusion of ideas, I have refrained from using the vocabulary of quantum and relativity theory as I find the range of classical electro-dynamics and astronomical perturbation theory sufficient to describe qualitatively and quantitatively the theoretical particulars involved."[19]

Cette lettre de King est écrite en réponse à celle reçue la veille où l'éditeur de *Nature* indiquait son intention de faire inclure les travaux de King sur l'électron

gyromagnétique dans l'article de revue commandée par le journal auprès d'un éminent physicien. La réponse de King, qui inclut une copie de la lettre à Lodge ainsi qu'une lettre de Edwin P. Adams, mathématicien de Princeton et proche collaborateur de King, montre clairement que l'auteur est conscient de l'aspect rétrograde de ses travaux face à la communauté scientifique et qu'il n'a guère confiance dans ses jugements comme l'indique l'extrait suivant où il justifie son geste (d'inclure les lettres de Lodge et Adams) en disant:

> "This step in order that the work may not be prejudiced by being presented from a point of view which may lead to misinterpretation or a deliberate avoidance of modern theoretical physics with which I am well acquainted. In discussions with various friends and colleagues, I have found this a difficulty to cope with."[20]

Il termine en indiquant que, selon lui, Adams est le seul physicien mathématicien compétent qui ait étudié ses travaux en détail, et demande que sa lettre et celle de Lodge soient communiquées à l'auteur de l'article de revue; ce que l'éditeur refuse en indiquant que ce dernier pourrait être irrité par un tel geste.[21]

Ce manque de confiance de King envers la communauté scientifique ainsi que le désir d'établir sa priorité expliquent probablement que le 21 avril 1926, le *Montreal Daily Star* présente la théorie de King en gros titre: "McGill Professor Advances New Theory of Atomic Structure". Cet article, publié 5 jours après la conférence de King devant la Société de Physique de McGill, présente l'évolution des idées de l'auteur et occupe près des trois quarts de la page. Ce geste est suivi quelques jours plus tard par la publication, à titre privé, d'une plaquette de 28 pages exposant la théorie de King et intitulée *Gyromagnetic electron and a classical theory of atomic structure and radiation*.[22]

On trouve une dernière étape importante de l'itinéraire de King dans une lettre à Adams du 3 novembre 1926. Cette lettre contient une démonstration de l'équation de Schrödinger (parue en avril 1926) sur des bases purement classiques.[23] Un des termes de la formule diffère toutefois d'un facteur quatre par rapport à celle de Schrödinger.[24] King relie cette différence à la charge du noyau qui selon lui doit être +2e au lieu de +e (e étant la charge du noyau). Quoique ce ne soit pas ici le lieu d'analyser le détail de ces calculs, il est intéressant de mentionner ce fait car il montre jusqu'où le "programme" de King a pu se développer. Le même jour il écrit à Ludwik Silberstein, physicien théoricien travaillant pour la compagnie Kodak à Rochester et que King avait recommandé comme nouveau professeur à McGill en 1923.[25] Visiblement excité

par sa découverte il note: "My pet 'gyromagnetic electron' is apparently the physical reality behind the new 'quantum wave-mechanics' about which the European atomic physicists are so excited".[26]

Ces lettres marquent à la fois l'apogée du programme de King et la fin de son développement. Les dernières traces de "l'électron gyromagnétique" se trouvent dans une lettre de King, adressée à Adams en mai 1930 où l'on apprend que ses travaux progressent lentement et que Jean Perrin, alors agé de 60 ans, l'encourage à continuer.

King demeurera toute sa vie convaincu que la physique classique est un édifice suffisant pour loger les phénomènes atomiques. Ainsi, en 1929, dans une lettre adressée à D. Buchanan de l'Université de Colombie Britannique dans laquelle il discute de la radiation que doit émettre un électron en orbite autour d'un noyau, il écrit que les difficultés rencontrées par le modèle classique "led most atomic physicists to invest in the new mechanics which ignores any attempt to solve the problem in terms of electrodynamics concepts".[27]

Louis King, qui prendra sa retraite en 1938 probablement en raison de troubles mentaux[28], est le dernier représentant de cette conception mécanique du monde, propre aux physiciens anglais de la fin du XIXe siècle, qui cherchaient toujours à développer des modèles concrets et visuels des phénomènes.[29] C'est aussi celui qui a poussé cette conception le plus loin, donnant ainsi un dernier espoir à des gens qui, comme Oliver Lodge, ne pouvaient s'adapter à une nouvelle conception de la physique.

LA REACTION DES SCIENTIFIQUES AUX TRAVAUX DE KING

Quelle est la réaction du milieu scientifique à cette théorie? Malheureusement les procès-verbaux de la Société de Physique de McGill ne font pas état des discussions qui ont suivi la présentation de King. On sait toutefois, grâce à une lettre écrite plus tard par Foster et adressée à Niels Bohr en date du 15 mars 1927, que King avait une influence certaine sur ses collègues. Ainsi Foster écrit: "While people at McGill appreciate the great power of the new methods of the quantum theory, there is a strong feeling that we should try to retain an atomic model as in the King theory".[30]

Dans une autre lettre écrite à Bohr le 5 mai de la même année Foster dit: "There has been rigid opposition to the methods of quantum mechanics...The opposition to quantum mechanics is due to his [King] influence, is purely local, and probably temporary".[31] On peut toutefois croire que King a eu une certaine audience parmi les scientifiques comme en témoigne la seconde édition de 300 exemplaires de son "pamphlet", 3 mois seulement après la première qui tira

elle aussi 300 exemplaires.[32]

La première réaction outre-mer est contenue dans une lettre de Oliver Lodge, âgé alors de 75 ans, adressée en réponse à celle de King mentionnée précédemment, et datée du 29 juillet 1926.[33] Tout en mentionnant qu'il n'a pas pu analyser ses travaux en détail, il ajoute: "I have always hoped that in the Bohr atomic theory the quantum (as a vague unexplained idea) could be dispensed with and the laws of dynamics applied". Cette opinion qui vient d'un grand physicien anglais de la tradition de Maxwell ne fait que confirmer le fait que King continue de représenter l'idéal classique de la fin du XIXe siècle, où tout se résume à la dynamique et à l'électromagnétisme. Lodge ajoute qu'il est particulièrement impressionné par le fait que King puisse dériver la loi d'Einstein pour l'effet photoélectrique, car ce phénomène est alors la preuve la plus directe de la nature quantique des phénomènes lumineux. Un autre son de cloche semble s'être fait entendre lorsque King rencontre Max Born à Oxford à l'été 1926. Les deux physiciens sont réunis lors du congrès de la British Association du mois d'août, où Born présente ses vues sur les aspects physiques de la mécanique et King les siennes sur l'électron gyromagnétique.[34] Relatant, dans une lettre à Adams, sa discussion avec Born, il écrit: "I had yesterday a most interesting discussion on the subject with professor Max Born, and it has given me many things to think about in regard to many points".[35]

Born ayant déjà à ce moment publié plusieurs articles avec Heisenberg et Jordan sur les fondements de la mécanique quantique, on imagine la délicatesse avec laquelle il a dû aborder les travaux de King qui n'étaient à ce moment publiés nulle part. D'ailleurs la façon pour le moins ambigue dont King s'exprime nous semble assez éloquente à cet égard. L'auteur ne perd toutefois pas confiance en ses idées, comme le montre l'extrait suivant de la même lettre: "It is remarkable that the theory behaves as well as it does and I feel that in spite of many difficulties, of which I am fully aware, that there must be some substratum of truth as to the internal structure of the electron which makes itself felt in a way analogous to that of a spinning charge".

Un appui, plutôt mitigé, lui vient de S. Chapman de l'Impérial College of Science and Technology de Londres:

> "As regards an expression of opinion on your work I think most people here would take the view that it is a line worth following up in view of the present difficulties in these fields, though of course I know that some people have more hope of such methods as Schrödinger's than of your own line of attack".[36]

Les contacts du professeur King semblent assez étendus quand on constate qu'il obtient du physicien indien Raman[37], par l'intermédiaire de Ramanathan[38], l'assurance qu'il publiera un résumé de sa théorie de l'électron gyromagnétique dans un prochain numéro des *Proceedings of the Indian Association for the Cultivation of Sciences*. De plus, il mentionne dans une lettre à Ludwik Silberstein que James Jeans est intéressé par ses travaux et qu'il accepterait de soumettre une publication sur le sujet à la Royal Society et que "les Français" feraient de même dans les *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences* ou les *Annales de Physique*.[39] En somme, les quelques encouragements que King reçoit proviennent de la vieille génération qui a du mal à s'adapter à une nouvelle théorie.

Du côté de ses voisins du sud, seul Edwin P. Adams de Princeton endosse complètement le programme de King[40]. De visite à McGill en février 1927, Adams prononce une conférence devant la Société de Physique sous le titre "Modern atomic theories".[41] Après avoir critiqué les fondements de la théorie quantique, l'auteur présente les vues du professeur King sur l'électron gyromagnétique ainsi que ses propres calculs qui, selon le secrétaire de la Société, "Were in almost perfect agreement with those obtained by Dr. King".

Deux jours avant cette communication de Adams, la *National Academy of Science* des Etats-Unis reçoit un manuscrit d'un jeune physicien de la California Institute of Technology, Boris Podolsky. Publié dans le fascicule du 15 mars des "proceedings" sous le titre "On King's classical theory of radiation"[42], l'article de Podolsky débute par un résumé des arguments de King. Ensuite, l'auteur objecte qu'un électron sphérique rigide en rotation et se déplaçant à vitesse constante ne peut donner lieu à une précession, minant ainsi le point de départ de la théorie. Il ajoute que même si une telle précession existait sa fréquence varierait lors d'une absorption d'énergie rendant impossible l'émission d'ondes électromagnétiques quasi-monochromatiques telles qu'elles sont observées en spectroscopie. Podolsky termine alors son bref article en écrivant:

> "We must therefore conclude that King's picture is incorrect. Moreover, it seems hardly desirable. In the modern theory the frequency of precession of the spinning electron (due to causes other than those discussed by King) has found its proper place. It accounts for the normal doublets and triplets, that is, for a small change of the frequency and not for the whole effect".

Au moment où Podolsky écrit ces lignes, la communauté scientifique américaine est déjà convaincue de la puissance de la mécanique quantique ou ondulatoire comme en témoigne

bien ce même numéro des "proceedings" qui contient des articles de Enos Witmer, Harry Bateman ainsi que plusieurs textes de Paul Epstein et John C. Slater, entièrement consacrés à la nouvelle mécanique. On comprend alors facilement que Foster puisse écrire dans sa lettre à Niels Bohr du 5 mai 1927, "Schrödinger has aroused a rather keen interest in the subject in the United States".[43]

On a vu que King entretenait de bonnes relations avec Ludwik Silberstein et qu'il le tenait au courant de ses travaux. Faisant écho à la lettre de King du 3 novembre 1926, qui contenait une démonstration classique de l'équation de Schrödinger, Silberstein, dans sa réponse du 11 novembre, semble impressionné par cet exploit (malgré la présence d'un facteur 4 de différence dans l'un des termes), et encourage King à publier ce résultat dans *Nature*. Discutant des récents travaux de Born et Jordan sur la mécanique quantique il écrit:

> "I read now and then about it, though it does not thus far strike me as offering any advantages and, especially as promising to solve the problems of non hydrogenic spectra. (The procedure too is in most cases extremely clumsy. Did you think of a possible scheme of simplifying it?)"[44].

Silberstein, pourtant formé à l'école de Max Planck, n'est pas enthousiaste face à la théorie de Born et Jordan et semble garder espoir que King réussira à développer une théorie viable. On peut ainsi douter que sa présence à McGill eût facilité la réception de la mécanique quantique à cette institution.[45]

Une dernière réaction à l'oeuvre de King est celle de la mathématicienne Dorothy Wrinch lors d'un exposé devant la Aristotelean Society le 29 novembre 1926 et intitulé "Scientific Methodology with special reference to electron theory".[46] Discutant du statut de la constante de Planck, à savoir si c'est une nouvelle constante fondamentale ou si elle est dérivable des constantes "classiques", elle cite les travaux de King comme exemple de cette seconde alternative.

Pour résumer ces deux sections, on peut dire que les travaux de King et l'influence qu'il exerce vers 1927 sur les membres du département sont tels que McGill est une institution peu propice à accueillir favorablement la nouvelle mécanique des atomes.

JOHN STUART FOSTER ET LA MECANIQUE QUANTIQUE

Au moment où King développe sa théorie classique de la radiation, John Stuart Foster s'affaire à étudier le spectre de l'hélium soumis à l'effet Stark et à communiquer ses

résultats directement à Niels Bohr[47] qu'il avait rencontré lors de la visite de ce dernier aux Etats-Unis en 1924.[48] C'est aussi au cours de cet échange épistolaire que s'organise la visite de Foster à Copenhague qui aura lieu de septembre 1926 à janvier 1927.

Le séjour de Foster au fameux institut de physique théorique se situe à un moment important du développement de la mécanique quantique. Max Born venait à peine de publier son interprétation statistique de la fonction d'onde[49] et Heisenberg n'avait pas encore découvert son "principe d'incertitude"[50], Schrödinger qui visite alors l'institut est toujours convaincu que la fonction d'onde représente une densité de charges[51] et il s'intéresse alors aux travaux de Foster sur la mesure de l'intensité des raies spectrales de l'atome d'hydrogène soumis à l'effet Stark.

A son départ de l'Université Yale en 1924, Foster s'intéressait au désaccord existant entre la théorie de Kramers et les résultats expérimentaux de Stark concernant l'intensité des raies $H\beta$ de l'hydrogène dans un champ électrique.[52] A McGill ces travaux sont effectués par une étudiante de Foster, Mary L. Chalk, candidate au doctorat. Ainsi en apprenant que Schrödinger avait calculé l'intensité des raies $H\beta$, il lui était facile de se servir des résultats qu'il avait obtenus, pour comparer avec les calculs de Schrödinger. Une lettre, datée du 6 septembre 1926, fut alors publiée dans *Nature* annonçant l'accord entre la théorie et l'expérience.[53]

Cette vérification précoce de la théorie de Schrödinger sera suivi 2 ans plus tard d'une autre non moins importante. Un mois seulement après la parution de leur lettre dans *Nature*, soit en octobre 1926, paraît un article de Paul Epstein dans la revue américaine *Physical Review*.[54] L'auteur y calcule l'intensité des raies de l'hydrogène soumis à l'effet Stark à partir de *l'amplitude* de la fonction d'onde au lieu du *carré* de celle-ci comme Schrödinger l'avait fait (calculs qu'il résumait d'ailleurs dans le numéro de décembre de la même revue[55]). Les intensités calculées par les deux auteurs différaient particulièrement pour les raies $H\beta$ parallèles au champ électrique appliqué, les résultats de Epstein étant plus près de ceux obtenus expérimentalement par Stark en 1915.

Foster décide alors de reprendre les mesures et trouve que les intensités des raies sont différentes de celles obtenues par Stark et qu'elles favorisent les calculs de Schrödinger et non ceux de Epstein. Les résultats sont alors publiés en mai 1928 dans une lettre à *Nature* qui conclut: "The present note is just to state that on this most outstanding point Schrödinger is correct".[56] Ainsi la visite de Foster à Copenhague lui aura permis d'être parmi les premiers à avoir vérifié la théorie de Schrödinger, accréditant ainsi l'hypothèse que c'est le

carré de la fonction d'onde et non l'amplitude qui donne l'intensité des raies spectrales.

Schrödinger devant visiter les Etats-Unis et l'Université du Wisconsin entre janvier et février 1927, Foster en profite pour l'inviter à McGill. Dans une lettre à Eve il mentionne que Schrödinger semble intéressé, cela lui permettant de voir un hiver canadien.[57] Considérant peut-être le manque de prestige de McGill à cette époque, il ne viendra jamais. C'est quand même cette possibilité de visite de Schrödinger qui, connue de King, est à l'origine de la visite de Edwin Adams à McGill en février 1927.[58]

Quoique Foster soit à Copenhague en tant qu'expérimentateur, sa présence là-bas le plonge en pleine théorie et il prépare un article dans lequel il applique, sous l'oeil attentif de Heisenberg, le formalisme de la nouvelle mécanique quantique à l'hélium soumis à l'effet Stark.[59] Ce travail peut être terminé grâce à une prolongation du séjour de Foster à Copenhague, prolongation demandée par Bohr lui-même dans une lettre à Eve.[60]

De retour à Montréal au milieu de février 1927, Foster présente ses travaux à la réunion de la Société de Physique du 4 mars, sous le titre "Six months with Bohr".[61] Après avoir décrit le fonctionnement de l'Institut et présenté les gens qui y travaillent (Fowler, Dirac, Hund et Heisenberg), l'auteur développe quelques éléments de mécanique quantique. Il ajoute que même si la théorie quantique donne une expression très précise des faits, elle ne fournit pas un modèle physique de l'atome. Foster conclut que la recherche d'un lien entre ce formalisme et les idées développées par King pourrait jeter de la lumière sur ce point.

Encore une fois, il est malheureux que le secrétaire d'alors n'ait pas eu l'idée, ou le temps, de rapporter les discussions qui suivirent l'exposé de Foster, et qui ont été sûrement intéressantes car c'est la seule fois où la mécanique quantique et la théorie de King sont confrontées directement. Quoiqu'il en soit, ces paroles de Foster, qui peuvent surprendre de la part de quelqu'un qui a passé "six mois avec Bohr", ne doivent pas être prises trop au sérieux et doivent plutôt être portées au compte de la diplomatie et de la prudence: King est alors "Macdonald professor of physics" et Foster n'est que professeur assistant. D'ailleurs l'extrait suivant d'une lettre qu'il écrit à Bohr une semaine plus tard, suggère bien son scepticisme à l'égard de la théorie de King:

> "Dr. King reports important advances with his classical theory of atomic structure...In this new theory certain details are not quite clear. The Balmer lines appear to be emitted by hydrogen molecules and the nature of the fine structure

> is much simplified from that generally accepted. Dr. King expects that these matters together with the many-bodied problem will come satisfactorily within the range of his theory as it is developed".[62]

Plus loin dans la même lettre, parlant de la possibilité de présenter ses récents travaux sur l'atome d'hélium devant l'American Physical Society, il écrit: "Owing to the present situation at McGill, there might be a more sympathetic audience at Washington".

Ainsi, quoique le point de vue de Foster soit minoritaire, son arrivée à McGill marque le début de la pénétration dans cette institution de la mécanique quantique ainsi que du discours philosophique qui l'accompagne.

PHYSIQUE ET PHILOSOPHIE: LE NOUVEAU DISCOURS DE LA MECANIQUE QUANTIQUE

Attendant peut-être de raffermir sa position à l'intérieur du département de physique, ce n'est qu'à l'automne de 1928 que Foster présente un exposé des développements récents de la physique devant la Société de Physique de McGill.[63] A cette séance du 26 octobre, l'auteur présente les concepts de spin, discute de la diffraction des électrons et de la mécanique quantique en concluant qu'il ne correspond pas d'images physiques à ces nouvelles idées, mais que Heisenberg a développé une interprétation claire du formalisme mathématique. Foster accueille favorablement ce développement comme l'indique la lettre qu'il avait écrite à Bohr un an auparavant et où il disait: "Heisenberg's letter with the news regarding further progress in the physical interpretation of quantum mechanics was most encouraging".[64] Cette lettre à laquelle Foster fait allusion, écrite un mois à peine après la formulation par Heisenberg de son désormais célèbre "principe d'incertitude"[65], arrivait d'ailleurs à un moment où Foster était seul à McGill à investir dans la nouvelle théorie.

Peu de temps avant l'exposé de Foster, soit le 3 mars 1928, Bragg était venu parler des vérifications expérimentales de la mécanique ondulatoire suivi de Léon Brillouin le 30 mars. Invité par l'Institut Scientifique Franco-Canadien, il expose ses vues sur "les méthodes statistiques consistantes avec la dynamique quantique".[66] Cet exposé de Brillouin aura sûrement stimulé Etienne Bieler qui, un mois plus tard, termine un article où il présente les principales applications de la statistique de Fermi-Dirac. Publiant à un moment où la théorie (parue au début de 1926) est encore récente, Bieler peut conclure: "The list of important phenomena which have already received an explanation seems already imposing enough to warrant a very serious consideration of the theory on the part of the

physicist".[67]

Encouragé lui aussi par ces conférences, Foster fait un pas de plus pour propager la nouvelle philosophie de la physique. Dans un article de vulgarisation, publié en février 1929[68], il présente ce qu'on reconnaît comme les éléments typiques de cette nouvelle vision de la physique mise de l'avant par Bohr à partir de 1925.[69] Il discute de la "disparition" d'un modèle de l'atome consécutive aux travaux de Heisenberg, c'est-à-dire de l'impossibilité d'obtenir une image précise de l'atome dans l'espace; de la dualité onde-corpuscule ainsi que des relations d'incertitudes interprétées comme des "erreurs" imposées par toute observation des phénomènes. Cette conception empirique des relations d'incertitudes était sûrement attrayante pour un expérimentateur comme Foster.

L'exposé de Dorothy Wrinch devant l'Aristotelean Society nous a montré que les philosophes ont commencé à discuter des fondements philosophiques de la nouvelle physique lors des réunions de leurs Sociétés. Il est intéressant de noter qu'à partir de la fin de 1929, le discours philosophique se déplace vers la Société de Physique de McGill. C'est un lieu inhabituel pour ce genre de discours, du moins si l'on en juge par les procès-verbaux de la Société qui n'indiquent jusqu'à cette date la présence d'aucun conférencier philosophe ou même de conférences dont le contenu serait philosophique. C'est pourtant à la séance du 22 novembre 1929 que J. W. A. Hickson, du département de philosophie de McGill, entretient les physiciens sur le thème "Physique et Philosophie".[70] Après avoir discuté du concept "d'évènements" (spatio-temporel) chez Whitehead, l'auteur s'attarde aux nouvelles conceptions développées autour de la mécanique quantique. Sans vouloir discuter les vues mises de l'avant par Hickson, notons que les éléments constitutifs du discours philosophique sur la mécanique quantique y sont présents: discussion des relations d'incertitudes; bris de la causalité, "complémentarité" de Bohr, etc. L'auditoire est-il prêt à manipuler ce genre de concepts?... Il faut croire que oui puisque le 10 janvier 1930, Foster revient à la charge avec un entretien intitulé "Indéterminisme et causalité". Le titre même de l'exposé ajoute un dernier élément aux discours précédents: "l'indéterminisme".[71]

On peut donc dire que dès la fin de 1929 le discours, qui sera appelé plus tard "l'interprétation de Copenhague" de la mécanique quantique, fonctionne assez bien au département de physique de l'Université McGill. Ainsi en avril 1931, le physicien viennois A. de Haas discute de la physique contemporaine devant les physiciens de McGill et n'oublie pas de glisser quelques mots sur les relations d'incertitudes et sur la nouvelle conception de la causalité.[72]

Les physiciens de McGill sont maintenant mieux préparés à écouter des discours plus "franchement" philosophiques tel celui de Alfred North Whitehead, intitulé "Philosophie et Science"[73] où il traite de la "sensation" et de "l'abstraction" et où aucune trace de mécanique quantique n'est présente. (Du moins si l'on se fie au secrétaire qui rédige le compte - rendu). On pourrait continuer ainsi et résumer la conférence de Hickson, présentée en décembre 1934, "Recent outlooks in the philosophy of Science"[74], mais ce serait superflu, tant semble claire la nouvelle tendance qui s'est ainsi dessinée.

Si l'on en croit Kuhn, une période de "crise" est caractérisée, entre autres choses, par un regain d'intérêt pour la philosophie et les discours sur les "fondements" de la science.[75] Quoique Kuhn énonce cette thèse à partir de l'analyse du comportement de quelques grands scientifiques, dont la position dans le champ scientifique est dominante[76], on voit ici que cette attitude caractérise aussi les positions subalternes, mais sous une forme différente. Ainsi là où les centres *produisent* un nouveau discours philosophique pour consolider les bases de la nouvelle physique, les périphéries ne font que *reproduire* ce discours sans trop de développements ou de critiques.

A McGill, entre ces conférences de nature philosophique continuent à s'intercaler des exposés de nature à rendre assez évidente la puissance de la mécanique quantique: 20 décembre 1929 G. P. Thompson présente le développement des idées ayant mené aux expériences sur la diffraction des électrons et conclut par une discussion sur l'équation de Schrödinger appliquée à ce phénomène.[77] Le 21 mars 1931, R. H. Fowler de Cambridge (auprès duquel Dirac élabore la mécanique quantique en 1925) discute de l'application de la mécanique quantique à la désintégration bêta.[78]

LA SITUATION DE LA MECANIQUE QUANTIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT ET LA PRODUCTION DE THESES

Jetons un coup d'oeil rapide sur l'évolution de l'enseignement de la physique quantique à McGill au cours de la période qui nous intéresse. Le tout débute en 1920 avec le cours "Physique quantique et relativité" donné par Eve.[79] En 1924 le cours est scindé en deux et la partie "relativité" est présentée par A. H. S. Gillson, professeur assistant aux départements de mathématique et de physique. A partir de ce moment, le répertoire des cours indique que le livre de base est celui de Arnold Sommerfeld, *Atomic Structure and spectral lines*, dont la première édition en langue anglaise est parue en 1923. Le contenu du cours correspond à ce qu'on appelle aujourd'hui l'ancienne théorie quantique, comme l'indique un examen de mars 1926 qui contient des questions portant sur le modèle de Bohr (1913), la loi de Planck (1900), les effets Stark (1913)

et Zeeman (1897). Peu de changements surviendront par la suite, si ce n'est l'addition en 1929 du volume de Birtwhistle *Quantum Theory of the Atom*.

Devenu professeur en 1930, Foster est maintenant en charge de cours de physique quantique. Dès l'année suivante, ce cours disparait du programme pré-gradué alors qu'au niveau gradué on y présente des éléments de mécanique ondulatoire. A partir de 1931 Gillson donne un cours intitulé "Mathematical physics Wave Mechanics etc.". Enfin, au répertoire des cours de 1929 apparait un nouveau livre de référence, soit celui des Américains A. E. Ruark et H. C. Urey *Atoms, Molecules and Quanta*. Curieusement, la description du cours indique "mécanique quantique" là où on lisait "mécanique ondulatoire".

Au niveau du doctorat, on constate que dès l'examen de juin 1927 des éléments de mécanique quantique sont introduits à travers deux questions: "Write a short essay on the Hamilton-Jacobi Method in dynamics pointing out its value in Quantum Dynamics", et, "What use is made of matrices in the new Quantum Mechanics".[80] Quoique la première puisse encore faire référence à l'ancienne théorie quantique[81], il fait peu de doute que la seconde se réfère à la nouvelle théorie de Heisenberg. En effet, même si Max Born avait déjà utilisé des matrices en 1921 dans son article sur les réseaux cristallins[82] et en 1909 dans un article sur la dynamique de l'électron rigide en relativité restreinte[83], l'emploi des matrices n'était guère généralisé et en tout cas on ne les appliquait pas en physique quantique. De plus l'emploi du terme "new quantum mechanics" montre clairement qu'il ne s'agit pas de l'ancienne théorie quantique.

Au niveau de la production des thèses on constate l'existence de deux travaux de nature théorique et liés à la mécanique quantique. Le premier est un mémoire de maitrise de Abraham Press daté d'avril 1927 et intitulé *Consequences of a matrix mechanics and a radiating harmonic oscillator without the quantum postulate*. Le répertoire des thèses en attribue la direction à Eve et à Gillson. Le contenu essentiel de cette thèse consiste à éviter de postuler les conditions quantiques (i.e. $pq-qp=i\hbar$) et à développer une visualisation concrète des éléments de matrice pq-qp en les reliant à une formule classique donnant l'action. En fin de compte, l'inspiration est strictement classique et on cherche encore des modèles.

Le second est une thèse de doctorat de Bryan Priestman déposée en 1929 et intitulée *The Propagation of Quanta*. Dirigée encore une fois par Gillson, cette thèse développe des idées peu orthodoxes. L'idée de base est de concilier les notions d'onde et de corpuscule en suggérant que durant la propagation le champ et la particule existent mais que

l'énergie est concentrée dans la particule et que le champ n'a aucune énergie. De plus, l'auteur note dans la préface qu'il discutera d'une explication *mécanique* possible de ces lois. La seconde partie est liée à la relativité générale et veut montrer que la présence d'un champ électromagnétique déforme l'espace-temps et change la trajectoire de la particule.

Quoiqu'il en soit, ce qu'il faut retenir de ces deux thèses c'est qu'elles n'adoptent pas comme point de départ la nouvelle mécanique quantique et qu'elles cherchent encore des interprétations mécaniques aux phénomenes étudiés. Ceci nous donne une certaine indication de l'état d'esprit des membres du département à cette époque. En effet, on imagine mal l'acceptation de ces thèses si leurs directeurs endossaient complètement les nouvelles idées de Bohr et Heisenberg.

La première thèse ayant pour base la mécanique quantique est celle de Mary L. Chalk dont les travaux ont déjà été discutés. Soumise en 1928, c'est une étude purement expérimentale portant sur la mesure de l'intensité des raies spectrales de l'atome d'hydrogène soumis à l'effet Stark. Cette thèse, dirigée par Foster est aussi, pour ce dernier, le début d'une longue carrière en tant que "producteur" de maitrises et de doctorats. En effet sur les quelques 61 thèses produites par le département de physique entre 1920 et 1939, 19 portent sur l'effet Stark et sont dirigées par Foster; ce qui lui fait une moyenne d'au moins une thèse par année. Mises à part 6 thèses qui traitent de la radioactivité et celles de Priestman et Press discutées précédemment, les autres, soit 34, ont toutes pour objet la physique classique.[84]

Ce survol de la production de thèses au département de physique montre que la pratique dominante après l'arrivée de Foster est encore du type "physique appliquée". La facilité avec laquelle Foster a pu recruter des élèves est surement liée à l'aspect expérimental de ses travaux qui ne requiert, en fait, que peu de connaissances de "physique moderne". D'autre part, l'introduction d'éléments de mécanique quantique dans l'examen de doctorat de juin 1927, semble précoce, vu la position de McGill dans le champ scientifique, et il est douteux qu'elle soit caractéristique d'une telle position.

WILLIAM WATSON:
LES PROBLEMES DE LA PHYSIQUE THEORIQUE A MCGILL

La mort d'Etienne Bieler en 1929 oblige le directeur du département à chercher un nouveau professeur. Eve se tourne alors vers l'Angleterre, plus précisément vers Rutherford. C'est dans une lettre à Eve du 19 septembre 1930 que ce dernier recommande William H. Watson en mentionnant que: "...like many of us, he is a little critical

of some of the present phase of the wave mechanics where all ideas of physics vanish".[85]

Né à Edimbourg en 1899, il obtient son doctorat en 1925 sous la direction de Charles Glover Barkla (1877-1944), Prix Nobel de Physique en 1917. Il est intéressant de s'attarder un peu sur cette collaboration qui avait pour objet une pseudo-découverte (qui fit pas mal de bruit à cause de la réputation de Barkla) nommé "phénomène J".[86] C'est sur ces nouvelles propriétés de rayons X que Watson prépare son doctorat ainsi qu'une publication avec Barkla dans *Philosophical Magazine*.[87]

Toutefois Watson ne subit pas seulement l'influence de Barkla. Il travaille aussi avec le théoricien Charles G. Darwin. Mentionnant qu'il a aussi suivi des cours de Edmund T. Whittaker, cela lui permet d'écrire: "I have practically grown up with the newer quantum theory".[88] Un peu plus loin, il déclare:

> "About the J phenomenon I can only say that my observations...incline me to the opinion either that X Ray processes, at least so far as intensities are concerned are not so simple as current theory would have us think...Or that I, and others, have been completely wrong in interpreting our measurements".

Le ton justificatif de ces phrases qui apparaissent dans son curriculum vitae montre que l'interprétation de Barkla n'est pas tout à fait morte en 1930. Ce même curriculum contient une longue section consacrée à l'interprétation physique de la mécanique quantique qui confirme l'opinion de Rutherford citée précédemment.

Après cette erreur de jeunesse, Watson s'oriente vers la physique théorique. Ses travaux, au nombre de huit entre 1934 et 1940, portent tous sur des sujets de pointe et même d'avant-garde. Le premier, intitulé "Discontinuity in electromagnetism"[89], développe une électrodynamique non-linéaire et attire l'attention du physicien Max Born qui avait peu de temps avant développé une théorie similaire.[90]

Ainsi McGill semble s'être enfin doté d'un théoricien de bon calibre. Toutefois lorsqu'on s'attarde aux thèses dirigées par Watson, on constate qu'elles n'ont nullement pour objet la physique théorique mais sont consacrées à des problèmes classiques tels la mesure de petites capacités et qu'il en a dirigé seulement 2 durant son séjour à McGill. Pourquoi personne n'a-t-il suivi la trace de Watson? Quoiqu'il soit possible qu'il n'ait pas voulu entraîner de jeunes gradués dans une voie aussi nouvelle qu'incertaine, il est plus probable qu'il n'ait pu recruter de jeunes disciples. En effet, la physique à McGill

est alors du type "physique appliquée", ce qui doit influer beaucoup sur la formation des Bacheliers, étant bien connu que ceux-ci sont surtout formés pour *reproduire* le discours et la pratique dominante. Par contre, ce mécanisme de reproduction sera favorable à un expérimentateur comme Foster et explique en partie son succès dans la production de gradués. Ainsi, lorsqu'il quitte McGill en 1943 pour aller diriger le département de mathématique de l'Université de Saskatchewan, Watson ne laisse derrière lui aucune trace. C'est pourtant le premier à avoir "pratiquement grandi avec la nouvelle mécanique quantique" et qui s'est intéressé de près à son interprétation.[91]

Le départ de William Watson n'est surement pas étranger à la situation existant alors à McGill et qui rendait difficile l'implantation d'un physicien théoricien dont les intérêts n'étaient pas investis dans la physique classique. On comprend mieux alors pourquoi la physique théorique n'a jamais été bien représentée à McGill.[92]

CONCLUSION

Comme il y a peu de doutes que dans les années vingt McGill ait été une "colonie" des grandes universités britanniques (comme le montre bien le processus d'engagement des professeurs), on peut essayer de comparer rapidement la réaction des physiciens de McGill à celle des physiciens anglais telle qu'analysée par Paul Forman pour la période 1925-1927.[93] Selon cette étude, qui fait suite à une analyse plus détaillée portant sur l'Allemagne [94], les physiciens anglais, vivant dans un milieu intellectuel où ni le principe de causalité, ni le prestige de la science n'étaient en jeu, n'ont pas, contrairement à leur collègues allemands, réagi rapidement au "déclin du déterminisme" annoncé par la mécanique quantique.[95] Toujours selon Forman, il faut attendre le début de 1928 pour voir poindre à l'horizon le début d'une réaction. A ce moment, "they strongly favored the wave mechanics because the atomic processes were rendered in some sense pictorially. The statistical character of the wave function was unwelcome, but gradually accepted".[96]

La réaction des physiciens de McGill est donc semblable à celle de leurs homologues britanniques. Dans chaque cas, une conception mécaniste de la nature héritée des scientifiques de l'ère victorienne dont Kelvin, Thomson, Lodge sont les principales figures, aura agi comme frein en relation avec la réception des nouvelles idées véhiculées par la mécanique quantique. Cependant, cette communauté de pensée cache une diversité de pratiques due à la position de McGill dans le champ scientifique de l'époque. Même si les physiciens anglais acceptent avec réticence la nouvelle interprétation de la mécanique quantique, ils n'en participent pas moins à son élaboration et à sa diffusion, comme

en témoigne quelques manuels publiés entre 1929 et 1932.[97] Par contre à McGill on continue à "reproduire" les pratiques déjà existantes, sans se réajuster pour tenir compte de ces nouveaux développements.

Par exemple, les travaux de Foster sur l'effet Stark, qui pouvaient être importants aux environs de 1926, sont plutôt secondaires à partir de 1930. Pourtant Foster continuera ses travaux jusqu'en 1939, produisant un grand nombre de gradués dans ce domaine à un moment où le front de la recherche est plutôt dirigé vers la physique du noyau. Le cas de Watson qui n'a pu s'implanter à McGill montre aussi l'incapacité du département de physique à s'ouvrir à de nouveaux horizons. En somme, on a l'impression que si en Angleterre il y a une certaine réorientation de la recherche, à McGill la pratique des scientifiques n'est pas affectée par l'arrivée de la mécanique quantique.

Quoiqu'à partir de l'étude de la réception de la mécanique quantique à McGill on ne puisse énoncer des conclusions générales sur le comportement des communautés "périphériques" (au sens de position subalterne dans le champ scientifique), le cas étudié ici nous permet toutefois de suggérer l'hypothèse que la nature de la réaction de telles communautés est moins liée au génie personnel des individus qui la composent qu'à leur "trajectoire" et leur "position" dans le champ scientifique. Il faudra attendre les analyses de d'autres institutions "périphériques" (Toronto, Vancouver ou Halifax) pour pouvoir affirmer ce que le cas de McGill ne fait que suggérer.

Remerciements

Des versions préliminaires de ce texte ont été présentées devant le Joint Atlantic Seminar on the History of Physical Sciences à l'Université du Maryland en avril 1980 ainsi que devant la Société Canadienne d'Histoire et de Philosophie des Sciences lors de son congrès à l'Université du Québec à Montréal en juin 1980. Je tiens à remercier Lewis Pyenson qui, à toutes les étapes de la production de ce texte, m'a fourni de nombreux commentaires utiles, Raymond Duchesne qui a bien voulu lire la version finale du texte et suggérer des modifications dont j'ai eu plaisir à tenir compte, ainsi que les membres du séminaire général de l'IHSPS pour leurs critiques stimulantes.

NOTES

1. Voir les articles réunis dans le volume *Rutherford and Physics at the Turn of the Century*, éd. M. Bunge et W.R. Shea (New-York, 1979).

2. La question du "déclin" de McGill après 1910 a été abordée par Lewis Pyenson dans son article: "The Incomplete Transmission of a European Image: Physics at Greater Buenos Aires and Montreal, 1890-1920", *Proc. Am. Phil. Soc.*, vol. 122 (avril 1978): 92-114.

3. Sur la notion de "reproduction", voir P. Bourdieu et J.C. Passeron, *La Reproduction* (Paris, 1970).

4. Au sujet de J.J.Thomson et de la conception mécanique de la nature voir David R. Topper,"'To Reason by Means of Images': J.J. Thomson and the Mechanical Picture of Nature", *Annals of Science*, 37 (1980): 31-57.

5. Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2e édition (Chicago, 1970), 88.

6. Watson à Eve, octobre 1930. Archives de l'Université McGill, Accession 454, item 868 (que nous noterons 454/868).

7. Foster à Eve, 1 mai 1924; 454/842.

8. Rutherford à Eve, 28 mars 1924; Bragg à Eve, 29 février 1924; Darwin à Eve, 1 mai 1924; 454/842.

9. J.L. Heilbron, "Physics at McGill in Rutherford's Time" in Bunge et Shea, *op. cit.*, 42-73.

10. Pyenson, *op. cit.*, section 4.

11. Voir Stanley Cohen, "The Scientific Establishment and the Transmission of Quantum Mechanics to the United States, 1919-32", *Am. His. Rev.*, 26 (1971): 442-66.

12. W.E.K. Middleton, *Physics at the National Research Council of Canada: 1929-1952* (Waterloo, 1979), 4, et John Stuart Foster, "Louis Vessot King", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, 1957: 101.

13. Pour connaître le développement des modèles tourbillonaires de l'atome voir Robert H. Silliman, "William Thomson: Smoke Ring and Nineteenth-Century Atomism", *Isis*, 54 (1963): 461-74.

14. *Procès-Verbaux de la Société de Physique de McGill*, 30 septembre 1908; 1549/1.

15. *Gyromagnetic Electrons and a Classical Theory of Atomic Structure and Radiation* (Montreal, 1926), 28; 454/823.

16. V.g. Adresse présidentielle de la S.R.C., sec. III, *Trans. Roy. Soc. Can.*, Vol. XIII (mai 1919): 1; 454/817.

17. Il la nomme plutôt "constante de spin"; King à Adams, 3 novembre 1926; 454/706.

18. King à Lodge, 26 juillet 1926; 454/744.

19. King à *Nature*, 31 juillet 1926; 454/744.

20. *Ibid.*

21. *Nature* à King, 3 août 1926; 454/744.

22. Voir note 15.

23. King à Adams, 3 novembre 1926; 454/706.

24. L'équation de Schrödinger s'écrit: $\nabla^2\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - \upsilon)\psi = 0$

alors que celle de King a la forme $\nabla^2\psi + \frac{2\pi^2 m}{h^2}(E - \upsilon)\psi = 0$

25. Pyenson, *op. cit.*, 110-11.

26. King à Silberstein, 3 novembre 1926; 454/689.

27. King à Buchanan, 5 juillet 1929; 454/689.

28. Foster, "Louis King", 103.

29. Topper, *op. cit.*.

30. Foster à Bohr, 15 mars 1927. Bohr Scientific Correspondence, American Institute of Physics, New-York (que nous noterons BSC).

31. Foster à Bohr, 5 mai 1927; BSC.

32. Voir note 15.

33. Lodge à King, 29 juillet 1926; 454/744.

34. M. Born, "Physical Aspects of Quantum Mechanics", *Nature*, 119 (1927): 354-7, et King à *Nature* (voir note 19).

35. King à Adams, 3 août 1926; 454/706.

36. Chapman à King, 10 novembre 1926; 454/689.

37. Sir Chandrasekara Raman (1888-1970), Prix Nobel de Physique 1930 pour la découverte de "l'effet Raman".

38. Ramanathan à King, 14 août 1926; 454/689.

39. King à Silberstein, 3 novembre 1926; 454/689.

40. Adams publia en 1920 *The Quantum Theory* qui fut selon Kuhn une mongraphie standard pour l'époque et dont une seconde édition parut en 1923; Thomas S. Kuhn, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912* (Oxford, 1978), 253.

41. *Procès-Verbaux de la Société de Physique*, 18 février 1927; 1549/1.

42. B. Podolsky, "On King's Classical Theory of Radiation" *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 13 (1927): 97-100.

43. Foster à Bohr, 5 mai 1927; BSC.

44. Silberstein à King, 11 novembre 1927; 454/689.

45. Pyenson, *op. cit.*, 110-11.

46. D. Wrinch, "Scientific Methodology with Special Reference to Electron Theory", *Proc. Aristotelian Soc. (London)*, 27 (1926): 41-60; 454/839.

47. Foster à Bohr, 4 mars 1926; BSC.

48. Foster à Eve, 2 avril 1924; 454/842.

49. Max Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics* (New-York, 1974), 38.

50. W. Heisenberg, *La Partie et le Tout* (Paris, 1972), 112.

51. *Ibid.*, 107.

52. J.S. Foster, "The Stark Effect for Hβ and He λ 4686", *Astrop. J.*, 62 (1925): 229-37.

53. J.S. Foster et M.L. Chalk, "Observed Relative Intensities of Stark Components in Hydrogen", *Nature*, 118 (1926): 592.

54. P. Epstein, "The Stark Effect from the Point of View of Schrödinger's Theory", *Phys. Rev.*, 28 (1926): 695-710.

55. E. Schrödinger, "An Ondulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules", *Phys. Rev.*, 28 (1926): 1049-70.

56. J.S. Foster and M.L. Chalk, "Observed Relative Intensities of the Stark Components of H_α", *Nature*, 121 (1928): 830.

57. Foster à Eve, 28 novembre 1926; 454/293.

58. Adams à King, 16 janvier 1927; 454/706.

59. J.S. Foster, "Application of Quantum Mechanics to the Stark Effect in Helium", *Proc. Roy. Soc. Lon.*, 114 (1927): 47.

60. Bohr à Eve, 11 novembre 1926; 454/293.

61. *Procès-Verbaux de la Société de Physique*, 4 mars 1927; 1549/1.

62. Foster à Bohr, 15 mars 1927; BSC.

63. *Procès-Verbaux de la Société de Physique*, 26 octobre 1928; 1549/1.

64. Foster à Bohr, 15 mars 1927; BSC.

65. Heisenberg, *op. cit.*, 112.

66. *Procès-Verbaux de la Société de Physique*, 30 mars 1928; 1549/1.

67. E. Bieler, "The Fermi-Dirac Hypothesis of Gas Degeneration and its Applications", *J. Franklin Inst.*, 206 (1928): 65-82.

68. J.S. Foster, "Recent Discoveries in the Realm of Physics", *Teacher's Magazine*, vol. 11, no. 45: 9-11.

69. Niels Bohr, *Atomic Theory and the Description of Nature* (Cambridge, 1934) et M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (New-York, 1966), chap. 7, section 2.

70. *Procès-Verbaux de la Société de Physique*, 22 novembre 1929; 1549/1. Notons que cette conférence de Hickson ainsi que celle qu'il prononcera en 1934 sont publiées par la Société de Physique, ce qui ne semble pas être le cas pour les autres exposés.

71. *Ibid.*, 10 janvier 1930.

72. *Ibid.*, 13 avril 1931.

73. *Ibid.*, 25 mai 1932.

74. *Ibid.*, 14 décembre 1934.

75. Kuhn, *Scientific Revolutions*, 88.

76. Pour la notion de "champ scientifique", voir P. Bourdieu, "La specificité du champ scientifique et les conditions sociales du progrès de la raison", *Sociologie et Sociétés*, vol. 7, no. 1 (mai 1975): 91-118, et M. Fournier *et al.*, "Le Champ scientifique québécois: structure, fonctionnement et fonctims", *Ibid.*, 119-32.

77. *Procès-Verbaux de la Société de Physique*, 20 décembre 1929.

78. *Ibid.*, 21 mars 1931.

79. Les informations relatives aux cours sont contenues dans les répertoires des cours de l'Université McGill (volume annuel).

80. 454/1535.

81. Jammer, *op. cit.*, chap. 3.

82. *Ibid.*, 206-7.

83. Marshall Bowen et Joseph Coster, "Born's Discovery of the Quantum-Mechanical Matrix Calculus", *Am.J.Phys.* 48 (1980): 491-2.

84. Répertoire des Thèses de l'Université McGill, Vol. 1, 1881-1959 (ce catalogue est incomplet).

85. Rutherford à Eve, 19 septembre 1930; 454/869.

86. Le lecteur intéressé aux détails de l'histoire est prié de se référer à l'article de Brian Wynne, "C.G. Barkla and the J Phenomenon: A Case Study in the Treatment of Deviance in Physics", *Soc. Stud. Sci.*, 6 (1976): 307-47.

87. C.G. Barkla et W.H. Watson, "The Control of the J Phenomenon (Part IV)", *Phil. Mag.*, 2 (1926): 1122-7.

88. Watson à Eve, octobre 1930; 454/868.

89. W.H. Watson, "Discontinuity in Electromagnetism", *Trans. Roy. Soc. Can.*, S. III (1934): 1-28.

90. Born à Watson, 19 août 1934; 454/869.

91. En 1938 il publie *On Understanding Physics* (Cambridge) consacré aux fondements de la physique. Dans l'introduction, Watson mentionne que son traitement est influencé par Ludwig Wittgenstein dont il a suivi les cours à Cambridge entre 1929 et 1931.

92. L'absence de théoriciens à McGill a été notée par Pyenson, *op. cit.*, 110-11.

93. Paul Forman,"The Reception of an Acausal Quantum Mechanics in Germany and Britain", dans *The Reception of Unconventional Science: AAAS Selected Symposium 25* (1978), éd. S. Mauskopf: 11-50.

94. Paul Forman, "Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment", *Hist. Stud. Phys. Sci.*, 3 (1971): 1-115.

95. La phrase est de Eddington, citée par Forman, "Reception of an Acausal Quantum Mechanics", 50.

96. *Ibid.*, 38.

97. *Ibid.*, 50 cite ceux de H.T. Flint (1929), G.P. Thomson (1930) et H.S. Allen (1932).