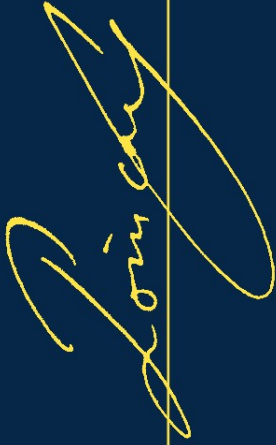


Publications des Archives Henri-Poincaré  
Publications of the Henri Poincaré Archives



Poincaré

**La correspondance  
entre Henri Poincaré  
et les physiciens,  
chimistes et ingénieurs**

Présentée et annotée par  
Scott Walter en collaboration  
avec Étienne Bolmont et André Coret

Birkhäuser



## **Publications des Archives Henri-Poincaré**

### **Publications of the Henri Poincaré Archives**

#### **La correspondance de Henri Poincaré**

La correspondance de Henri Poincaré est éditée par les Archives Henri Poincaré (Laboratoire de Philosophie et d'Histoire des Sciences, UMR 7117 du CNRS) sous la direction de Gerhard Heinzmann. Elle comportera cinq volumes.

#### **Collected correspondence of Henri Poincaré**

The collected correspondence of Henri Poincaré in five volumes is edited by the Henri Poincaré Archives (Laboratoire de Philosophie et d'Histoire des Sciences, UMR 7117 du CNRS) under the direction of Gerhard Heinzmann. It shall include five volumes.

#### **La correspondance entre Henri Poincaré et Gösta Mittag-Leffler.**

Présentée et annotée par Philippe Nabonnand

#### **La correspondance entre Henri Poincaré et les physiciens, chimistes et ingénieurs.**

Présentée et annotée par Scott Walter en collaboration avec Étienne Bolmont et André Coret

#### **La correspondance entre Henri Poincaré et les astronomes et géodésiens.**

Sous la direction de Scott Walter, Ralf Krömer et Philippe Nabonnand

#### **La correspondance entre Henri Poincaré et les mathématiciens.**

Sous la direction de Philippe Nabonnand, Scott Walter, Jean Mawhin et Klaus Volkert

#### **La correspondance privée et administrative.**

Sous la direction de Gerhard Heinzmann, Simone Mazauric, Laurent Rollet et Hélène Gispert

# **La correspondance entre Henri Poincaré et les physiciens, chimistes et ingénieurs**

Présentée et annotée par  
Scott Walter en collaboration  
avec Étienne Bolmont et André Coret

Birkhäuser  
Basel · Boston · Berlin

Editors:

Scott Walter  
Étienne Bolmont  
André Coret  
Université Nancy 2  
Centre National de la Recherche Scientifique  
LPHS – Archives Henri Poincaré (UMR 7117)  
23, Bd. Albert 1<sup>er</sup>  
F-54015 Nancy Cedex

2000 Mathematical Subject Classification: 01A55, 01A60, 01A70, 01A75, 76-03, 78-03, 80-03

Library of Congress Control Number: 2007923425

Bibliographic information published by Die Deutsche Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie;  
detailed bibliographic data is available in the internet at <http://dnb.ddb.de>

ISBN: 978-3-7643-7136-4 Birkhäuser Verlag AG, Basel - Boston - Berlin

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. For any kind of use, permission of the copyright owner must be obtained.

© 2007 Birkhäuser Verlag AG, P.O.Box 133, CH-4010 Basel, Switzerland  
Part of Springer Science+Business Media  
Printed on acid-free paper produced from chlorine-free pulp  
Cover illustration: Signature of Henri Poincaré

Printed in Germany  
ISBN 978-3-7643-7136-4

e-ISBN 978-3-7643-8303-8

9 8 7 6 5 4 3 2 1

[www.birkhauser.ch](http://www.birkhauser.ch)

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>ix</b>
<b>Remerciements</b>	<b>xvii</b>
<b>Archives dépositaires</b>	<b>xix</b>
<b>Abréviations</b>	<b>xx</b>
<b>Avertissement</b>	<b>xxi</b>
<b>1 Joseph Sweetman Ames</b>	<b>1</b>
<b>2 Svante Arrhenius</b>	<b>3</b>
<b>3 Albert Victor Bäcklund</b>	<b>6</b>
<b>4 Henri Becquerel</b>	<b>9</b>
<b>5 Kristian Birkeland</b>	<b>21</b>
<b>6 Vilhelm Bjerknes</b>	<b>26</b>
<b>7 Richard Bloch</b>	<b>29</b>
<b>8 André Blondel</b>	<b>31</b>
<b>9 René Blondlot</b>	<b>36</b>
<b>10 Joseph Boussinesq</b>	<b>83</b>
<b>11 Édouard Branly</b>	<b>92</b>
<b>12 Marcel Brillouin</b>	<b>94</b>
<b>13 Auguste Calinon</b>	<b>100</b>
<b>14 Emmanuel Carvallo</b>	<b>104</b>
<b>15 Alphonse Combes</b>	<b>106</b>
<b>16 Alfred Cornu</b>	<b>107</b>
<b>17 Victor Crémieu</b>	<b>109</b>
<b>18 Marie Curie</b>	<b>149</b>
<b>19 Pierre Curie</b>	<b>151</b>
<b>20 C. Delsaux</b>	<b>153</b>
<b>21 Pierre Duhem</b>	<b>157</b>
<b>22 Hermann Ebert</b>	<b>159</b>
<b>23 Paul Ehrenfest</b>	<b>162</b>
<b>24 Charles-Marie Gariel</b>	<b>164</b>
<b>25 Josiah Willard Gibbs</b>	<b>166</b>
<b>26 Oliver Wolcott Gibbs</b>	<b>168</b>
<b>27 G. Gilles</b>	<b>169</b>
<b>28 Charles-Édouard Guillaume</b>	<b>170</b>

<b>29</b>	<b>Camille Gutton</b>	<b>172</b>
<b>30</b>	<b>Heinrich Hertz</b>	<b>183</b>
<b>31</b>	<b>Arthur Korn</b>	<b>203</b>
<b>32</b>	<b>Paul Langevin</b>	<b>207</b>
<b>33</b>	<b>Lucien de la Rive</b>	<b>209</b>
<b>34</b>	<b>Joseph Larmor</b>	<b>213</b>
<b>35</b>	<b>Gustave Le Bon</b>	<b>215</b>
<b>36</b>	<b>Henry Le Chatelier</b>	<b>234</b>
<b>37</b>	<b>Tullio Levi-Civita</b>	<b>246</b>
<b>38</b>	<b>Hendrik Antoon Lorentz</b>	<b>251</b>
<b>39</b>	<b>Élie Mascart</b>	<b>261</b>
<b>40</b>	<b>Georg de Metz</b>	<b>263</b>
<b>41</b>	<b>Albert A. Michelson</b>	<b>265</b>
<b>42</b>	<b>Henri Moissan</b>	<b>270</b>
<b>43</b>	<b>Wladimir de Nicolaïève</b>	<b>272</b>
<b>44</b>	<b>Henri Pellat</b>	<b>274</b>
<b>45</b>	<b>Harold Pender</b>	<b>277</b>
<b>46</b>	<b>Alfred Perot</b>	<b>279</b>
<b>47</b>	<b>Lucien Poincaré</b>	<b>282</b>
<b>48</b>	<b>Alfred Potier</b>	<b>285</b>
<b>49</b>	<b>Camille Raveau</b>	<b>317</b>
<b>50</b>	<b>Wilhelm Conrad von Röntgen</b>	<b>320</b>
<b>51</b>	<b>Georges Sagnac</b>	<b>322</b>
<b>52</b>	<b>Édouard Sarasin</b>	<b>329</b>
<b>53</b>	<b>Ernest Solvay</b>	<b>337</b>
<b>54</b>	<b>Arnold Sommerfeld</b>	<b>341</b>
<b>55</b>	<b>Peter Guthrie Tait</b>	<b>345</b>
<b>56</b>	<b>William Thomson (Lord Kelvin)</b>	<b>352</b>
<b>57</b>	<b>Jules Violle</b>	<b>366</b>
<b>58</b>	<b>Vito Volterra</b>	<b>367</b>
<b>59</b>	<b>Pierre Weiss</b>	<b>375</b>
<b>60</b>	<b>Adolphe Wurtz</b>	<b>379</b>
<b>61</b>	<b>Pieter Zeeman</b>	<b>381</b>
<b>62</b>	<b>Documents divers</b>	<b>383</b>
62.1	Rapport sur la thèse de E. Carvallo . . . . .	383
62.2	Poincaré's <i>Thermodynamique</i> , by P.G. Tait . . . . .	384
62.3	Poincaré et Appel à l'Univ. de Stockholm . . . . .	388
62.4	H. Zeuthen à Poincaré (fragment) . . . . .	391
62.5	Rapport sur la thèse de C. Gutton . . . . .	392
62.6	Rapport sur la thèse de V. Crémieu . . . . .	394
62.7	Poincaré et al. au Comité Nobel . . . . .	398
62.8	Allocution devant la société française de physique . . . . .	401
62.9	Poincaré et al. au Comité Nobel . . . . .	403
62.10	G. Darboux au Comité Nobel . . . . .	406

---

62.11 H. Becquerel au Comité Nobel . . . . .	406
62.12 G. Darboux au Comité Nobel . . . . .	407
62.13 H. Becquerel au Comité Nobel . . . . .	407
62.14 Poincaré au Comité Nobel . . . . .	408
62.15 H. Becquerel au Comité Nobel . . . . .	411
62.16 G. Darboux au Comité Nobel . . . . .	411
62.17 Poincaré et al. au Comité Nobel . . . . .	412
62.18 Poincaré à G. Darboux (fragment) . . . . .	413
62.19 Poincaré : Mes principaux ouvrages relatifs à la physique . . . . .	413
62.20 P. Painlevé et al. au Comité Nobel (extrait) . . . . .	418
62.21 G. Darboux et al. au Comité Nobel . . . . .	419
62.22 Rapport sur J. Becquerel et P. Weiss (fragment) . . . . .	424
62.23 Poincaré à M. Abraham . . . . .	427
62.24 A.A. Michelson au Comité Nobel . . . . .	427
62.25 V. Volterra au Comité Nobel . . . . .	428
62.26 G. Darboux et al. au Comité Nobel . . . . .	430
62.27 H.A. Lorentz et P. Zeeman au Comité Nobel . . . . .	435
62.28 E. Bouty et al. au Comité Nobel . . . . .	436
62.29 Rapport sur les travaux de H.A. Lorentz . . . . .	437
62.30 G. Darboux au Comité Nobel . . . . .	440
62.31 V. Volterra au Comité Nobel . . . . .	440
62.32 G. Darboux au Comité Nobel . . . . .	441
62.33 V. Volterra au Comité Nobel . . . . .	442
<b>Bibliographie</b>	<b>443</b>
<b>Index nominum</b>	<b>478</b>
<b>Index rerum</b>	<b>488</b>





Henri Poincaré à Longuyon (1908)  
avec Georges Haller et Louise Poulain d'Andecy.  
Collection particulière, Paris.

# Introduction

Le rôle de la physique mathématique est de bien poser les questions, ce n'est que l'expérience qui peut les résoudre.

*Poincaré à Pierre Weiss, ca. novembre 1911*

L'intérêt que portait Henri Poincaré (1854–1912) à des questions d'ordre physique a été durable et profond ; elle couvre presque toute sa carrière, et marque l'histoire de la physique tout au long du  $xx^e$  siècle. Cet intérêt pose un défi à la compréhension, d'une part, parce que la carrière de Poincaré ne ressemble à celle d'aucun de ses contemporains, rendant caduque l'approche comparatiste. D'autre part, Poincaré ne travaille pas exclusivement sur des problèmes de physique, mais se penche en même temps sur d'autres questions sans rapport apparent : des questions d'analyse, de topologie, de géométrie, de mécanique céleste, d'électrotechnique, et de philosophie des sciences. Qu'il existe des fils communs entre ces disciplines disparates, Poincaré nous l'affirme, et il en identifie certains lui-même dans son "analyse des travaux" (1921). L'identification et la localisation de ces fils préparent la détermination de leur fonction dans la pratique scientifique de Poincaré. Dans cette optique, l'étude des cahiers de recherche et de la correspondance scientifique offre un éclairage certain.

On peut s'interroger également sur la nature des liens que Poincaré forme avec ses collègues physiciens, ainsi que sur son appartenance à la communauté de physiciens. Encore une fois, sa correspondance représente une source essentielle pour l'étude de ces questions. Les lettres que nous publions dans ce volume n'étaient pas, pour la plupart, destinées à la publication. Elles nous font entrer dans le cercle des connaissances de Poincaré, avec des amis de longue date, tels Henri Becquerel et René Blondlot. En dehors de ce cercle, Poincaré se fait connaître en tant que physicien surtout à travers ses cours et publications, et ses activités académiques et professionnelles. Afin de faciliter la comparaison des faces publique et privée de Poincaré, nous rappellerons les grandes lignes de la carrière de Poincaré en physique, ses lieux de publication, avant d'analyser la place de ses échanges avec des physiciens, chimistes et ingénieurs par rapport à l'ensemble de sa correspondance.

## La carrière de Poincaré en physique

La réputation scientifique de Poincaré se construit d'abord en mathématiques pures, à travers sa découverte des fonctions fuchsienues, ses travaux sur les séries divergentes et le problème restreint des trois corps, et ses contributions en topologie algébrique, qui font de lui le premier mathématicien de son temps, reconnu comme tel par ses pairs. En même temps, au tournant du vingtième siècle, Poincaré figure parmi les meilleurs physiciens théoriciens. Il est d'ailleurs le seul Français, avec Joseph Boussinesq, à atteindre ce niveau, alors qu'en physique expérimentale font autorité les travaux d'Henri Becquerel, Alfred Cornu, Pierre et Marie Curie, Georges Gouy, Jean Perrin, et Pierre Weiss. La réputation de physicien se construit chez Poincaré d'abord à partir de ses cours d'optique mathématique (1887–1888), et sur une lecture pénétrante de la théorie électromagnétique de Maxwell (1890–1891), transmise dans les cours professés en 1888 et 1890, l'année intercalaire étant celle d'un cours sur le problème des trois corps. Son volume sur la théorie de Maxwell fait date, étant le premier à paraître en Allemagne, et le deuxième en France, après les traductions de Maxwell.

Poincaré souligne la puissance de l'approche lagrangienne de Maxwell ; il démontre en passant (1890–1891, I, xiv) une remarque de ce dernier selon laquelle, si un phénomène admet une explication mécanique complète, il admet une infinité d'autres, toutes aussi compatibles avec l'expérience. En même temps, il transforme la théorie du fluide unique de Maxwell en théorie de deux fluides, et il déforme ses notions de charge et de courant électrique. Au pays de Helmholtz et de Hertz, où la nouvelle sous-discipline de physique théorique devient autonome, les cours de Poincaré, avec leur démarche inductive et leur exposition mathématique élégante, servent de modèle pédagogique, comme l'observe O. Darrigol (1993). Au pays de Maxwell, G.F. FitzGerald déplore une présentation trop mathématique des questions physiques (*Nature*, 1892, 45), mais l'approche de Poincaré séduit d'autres britanniques (dont A. Gray et J. Jeans), et l'aisance de son exposition mathématique suscite l'admiration générale. Pourtant, aucun traité de physique de Poincaré n'est traduit en anglais, alors que trois volumes sont traduits en allemand. En général, l'approche inductive et lisse de Poincaré séduit aussi bien des physiciens britanniques que continentaux, et promeut la théorie de Maxwell et la mécanique lagrangienne.

En électrodynamique maxwellienne Poincaré est parmi les premiers à appliquer des potentiels retardés (1891d), et les ingénieurs lui doivent une méthode d'intégration de l'équation des télégraphistes (1893a). Dans une contribution fondamentale, Poincaré (1900a) montre la contradiction entre la mécanique newtonienne et la théorie des électrons de H.A. Lorentz, une théorie qu'il rend plus plausible en trouvant une interprétation physique d'un artifice mathématique, le temps local. Cinq ans plus tard, il intervient de nouveau, afin de rendre compatible la théorie de Lorentz avec le principe de relativité. Mais à la différence d'Einstein, il retient la notion d'un éther luminifère, ce qui lui permet de se passer du postulat d'isotropie de la lumière. Il caractérise, en même temps, l'algèbre de Lie du groupe de Lorentz, et il dérive les deux premières lois de la gravitation covariantes par rapport aux transformations de Lorentz. Ce faisant, il trouve les quadrivecteurs qui serviront à la théorie de l'espace-temps de Minkowski (1908), dont il déplorera l'interprétation einsteinienne des coordonnées spatio-temporelles, leur préférant une convention interprétative

équivalente à la postulation de l'espace-temps de Galilée (S. Walter, 2007b).

Alors que ces contributions sont reconnues du vivant de Poincaré, son intégration à la communauté des physiciens ne va pas de soi. D'un point de vue institutionnel, Poincaré apparaît bien comme l'un des maîtres de la physique mathématique française, en tant que professeur de physique mathématique à la faculté des sciences de Paris, une chaire qu'il occupe entre 1886 et 1896. Il l'abandonne à la mort de l'astronome Félix Tisserand, pour celle d'astronomie mathématique et de mécanique céleste, sans délaisser l'enseignement de sujets physiques. Il garde son intérêt pour la recherche en physique, surtout en ce qui concerne l'électrodynamique. En 1898, il est admis à la société française de physique, avant d'être élu à la présidence de cette société en 1902.

Les titres de Poincaré en mathématiques, physique théorique, mécanique céleste, et philosophie des sciences sont reconnus par presque toutes les académies scientifiques en Europe et aux États-Unis au début du vingtième siècle. La communauté mathématique est unanime dans sa reconnaissance de ses contributions, l'étendue et la profondeur desquelles personne ne peut espérer à imiter. Cette domination intellectuelle n'a pas de pendant à l'Académie des sciences, où Poincaré se montre moins habile que d'autres dans la réalisation de ses projets. Élu président de l'Académie des sciences en 1906, l'année suivante Poincaré présente sa candidature au poste de secrétaire perpétuel pour les sciences physiques, en remplacement de Marcelin Bertrand. Alors qu'il devait remporter le scrutin par une faible majorité des voix, Poincaré préfère retirer sa candidature, au profit de celle du minéralogiste Albert de Lapparent.

Poincaré essuie un deuxième échec en 1910, lorsqu'il mène campagne pour le prix Nobel de physique, avec l'assistance énergique du mathématicien suédois G. Mittag-Leffler. Sa candidature bénéficie d'un nombre record de lettres de soutien, mais elle rencontre l'opposition de deux physiciens de Cambridge, J.J. Thomson et E. Rutherford (Crawford, 1984b). Plus surprenant est l'appui très faible de la part des néerlandais H.A. Lorentz et P. Zeeman (§ 62.27), bénéficiaires tous les deux du soutien très fort de Poincaré lors de la campagne de 1902 (§ 62.7).

D'où vient cette hésitation à admettre Poincaré dans le cercle des physiciens ? Sa formation initiale n'est pas en cause : en tant qu'ancien élève de l'École polytechnique (promotion de 1873), et de l'École des mines, Poincaré a suivi une voie tracée par deux membres de la section de physique générale de l'Académie des sciences : son ancien professeur de physique Alfred Cornu (promotion de 1867), et Henri Becquerel (promotion de 1872), lauréat du prix Nobel (1903). Comme l'observe P. Galison (2003), Poincaré porte la "marque de fabrique" de sa formation polytechnicienne, un pragmatisme d'ingénieur d'état, qui sait analyser un problème dans toutes ses facettes, rassembler toutes les ressources à sa disposition, et en fonction de ces éléments, choisir la solution optimale. A la différence de Cornu et Becquerel, Poincaré soutient une thèse en mathématiques (sur la théorie géométrique des équations différentielles), et ses premières publications le marquent aux yeux des savants comme un mathématicien de premier ordre, comme l'observe C. Gilain (1977). En 1885, lorsque Poincaré est nommé chargé du cours de mécanique physique et expérimentale à la Sorbonne, il n'a rien publié dans ces domaines, ce que M. Atten (1988) explique par la mainmise institutionnelle des mathématiciens sur les postes de physique.<sup>1</sup> L'année suivante, Poincaré est élu président de la société ma-

thématique de France, et il devient professeur de physique mathématique et calcul des probabilités à la Sorbonne. Quelques mois après sa nomination, il est présenté en première ligne par la section de géométrie à l'Académie des sciences. A l'âge de 32 ans, quatre semaines avant son élection, il publie sa première note de physique mathématique, sur la distribution de l'électricité (1887).

Poincaré garde la chaire de physique pendant dix ans avant de faire un échange, à la demande du doyen Darboux, pour celle d'astronomie mathématique et mécanique céleste. Entre 1886 et 1901 il publie dix-sept volumes et 80 articles de physique mathématique, mais pour ses collègues physiciens, ces contributions ne font pas de lui un simple physicien. Au mieux, comme le veut le professeur de physique générale et mathématique au Collège de France Marcel Brillouin (1901, 127), Poincaré devient un "physicien-géomètre". Ayant quitté la chaire de physique, Poincaré essaie de s'intégrer davantage dans la communauté des physiciens. Il devient membre de la société française de physique, entre au conseil de l'*Éclairage électrique*, prend en charge le cours d'électricité théorique à l'École supérieure des postes et télégraphes, et en 1902, il préside la société française de physique. Néanmoins, il n'arrive pas à se défaire de l'étiquette collée par Brillouin. Au centenaire de la naissance de Poincaré, par exemple, Louis de Broglie (1954, IX, p. X) le décrit comme "plus analyste que physicien."

La remarque de de Broglie vise le style de Poincaré en physique théorique, et souligne une différence par rapport à la pratique de ses contemporains. Si on considère la physique comme elle se fait en France au début du XX<sup>e</sup> siècle, Poincaré se situe à l'un des deux extrêmes d'une droite qui va de la physique mathématique à la physique expérimentale, à une époque où la physique française se veut surtout expérimentale. La revue de physique dominante, le *Journal de physique théorique et appliquée* ne publie que de rares études théoriques au début du XX<sup>e</sup> siècle (en dépit de son titre), et néglige la recension d'articles théoriques parus à l'étranger. Il faudra attendre jusqu'à la fin des années 1920 pour voir l'émergence modeste de la physique théorique à Paris, comme le montre D. Pestre (1992, 119).

Figure singulière par sa réussite en mathématiques et en physique, Poincaré le paraît davantage sans doute si on prenait en compte ses contributions en philosophie des sciences et en mécanique céleste. Dans la section suivante, nous essayons de cerner d'une manière quantitative l'activité en physique de Poincaré par rapport aux autres disciplines.

## Les lieux de publication

En face d'une œuvre dense, variée et importante (dix tomes d'articles de recherche, cinq volumes philosophiques, vingt-quatre volumes de cours), les commentateurs de Poincaré ont fait le choix de découper leur sujet selon des lignes disciplinaires. Dès la mort du savant en 1912, ses collègues ont publié des comptes-rendus intitulés "Poincaré mathématicien," "Poincaré astronome", "Poincaré physicien", et "l'œuvre philosophique". Ces découpages vont à l'encontre de la philosophie de Poincaré, qui cherche à rapprocher les sciences exactes. Selon lui (1897d) la physique mathématique et l'analyse pure "se pénètrent mutuellement, et leur esprit est le même." Malgré cette interpénétration, les revues de recherche se distinguent souvent par la nature des articles qu'elles accueillent. A partir

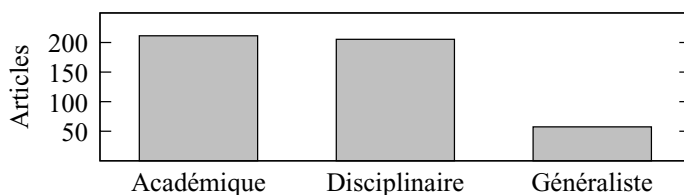


FIG. 1 – Articles de Poincaré ( $N = 472$ ).

de ce fait, une première carte disciplinaire de l'activité scientifique de Poincaré se dessine à travers un classement disciplinaire des revues dans lesquelles il publie ses écrits.

Notre analyse se base sur la bibliographie de Poincaré.<sup>2</sup> Pour les besoins de l'analyse, nous prenons trois catégories distinctes de revues : académique (par exemple, les *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences*), disciplinaire (par exemple, le *Journal de physique théorique et appliquée*), et généraliste (comme la *Revue générale des sciences pures et appliquées*). Nous négligeons les livres de Poincaré, ainsi que les articles parus en tant que chapitres de livres.

La figure (1) montre que Poincaré publie à peu près aussi fréquemment dans les organes de publication académiques que dans les revues disciplinaires. Très souvent, en fait, les articles académiques fournissent le résumé d'un mémoire publié dans une revue disciplinaire. Le nombre de publications non-disciplinaires est relativement faible (10%), mais les titres qui y figurent sont publiés une seule fois dans une revue, alors que les titres disciplinaires sont réédités parfois : une fois dans une revue disciplinaire, et une ou plusieurs fois dans des revues généralistes. Par exemple, Poincaré publie l'article "L'invention mathématique" une fois dans une revue disciplinaire (*l'Enseignement mathématique*), une fois dans une revue généraliste (la *Revue générale des sciences pures et appliquées*), et après quelques retouches, dans son livre *Science et méthode* (1908e).

Pour obtenir une idée de la distribution disciplinaire des publications de Poincaré, divisons la catégorie disciplinaire de la figure (1) en quatre sous-catégories : les mathématiques, l'astronomie, la philosophie, et la physique pure et appliquée. Nous obtenons ainsi la figure (2). L'établissement des trois premières catégories va de soi, alors que la quatrième, la physique pure et appliquée, nécessite des précisions. Pendant toute sa carrière, Poincaré ne publie que quatre articles dans des revues de recherche en physique. D'où viennent donc les 37 autres articles de la catégorie "physique"? Vingt-neuf d'entre eux paraissent dans un journal destiné aux ingénieurs électriciens, *l'Éclairage électrique*, ou son successeur, la *Lumière électrique*. Poincaré appartient au comité de rédaction de ces revues, et par ses contributions il participe à la formation des ingénieurs électriciens.

La figure (2) montre que Poincaré publie deux fois plus fréquemment dans des revues de mathématiques que dans des revues de physique ou d'astronomie, et presque quatre fois plus fréquemment que dans des revues philosophiques. A partir du fait que Poincaré publie de nombreux articles dans une revue généraliste comme la *Revue générale des sciences pures et appliquées* (64 titres), on pourrait être tenté de conclure qu'il cherchait à brouiller les pistes disciplinaires. Pourtant, seulement trois articles disciplinaires

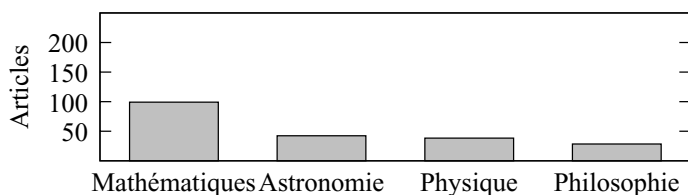


FIG. 2 – Articles de Poincaré publiés dans une revue disciplinaire ( $N = 205$ ).

Classe	Tome	Classe	Tome
Analyse	I, II, III	Topologie	VI
Géométrie	IV	Mécanique céleste et astronomie	VII, VIII
Algèbre	V	Physique mathématique	IX, X

TAB. 1 – La tomaisson des *Œuvres* de Poincaré (1916–1956).

sont publiés dans deux revues de discipline hétérogène, par exemple, de physique et de philosophie.<sup>3</sup>

La biographie de Poincaré éclaire également les détails de la distribution de ses publications mathématiques dans la catégorie des revues de mathématiques. L'amitié entre Poincaré et le rédacteur en chef des *Acta mathematica*, Gösta Mittag-Leffler, a sans doute motivé Poincaré à publier plus d'articles fondamentaux dans cette revue qu'ailleurs (c'est-à-dire, 30% de ses publications mathématiques). La même remarque pourrait se faire à propos des *Rendiconti di Palermo* de G.B. Guccia, où Poincaré publie 15% de ses articles mathématiques.<sup>4</sup> En plus des revues précitées, Poincaré est membre des comités de rédaction du *Journal de physique*, du *Bulletin de la société mathématique de France*, et du *Journal de mathématiques pures et appliquées*.

On peut comparer les données disciplinaires de la figure (2) avec la classification effectuée par les éditeurs des dix premiers tomes des *Œuvres* de Poincaré, parus entre 1916 et 1954. Ces éditeurs ont réédité et associé des sélections d'articles indépendamment de leur provenance. Comme on voit dans la table (1), en reprenant la distribution des articles dans les *Œuvres*, la physique mathématique représente 20% de l'ensemble, qui correspond bien à la proportion d'articles disciplinaires parus dans des revues de physique (19%, ou 38 sur 205), qu'on voit représentés dans figure (2).

## La correspondance

La correspondance de Poincaré offre une image détaillée de son activité scientifique, aussi bien par les renseignements bruts qu'elle nous fournit sur le nombre, la qualité et la distribution spatio-temporelle de ses correspondants, qu'à travers les discussions vivantes dont les lettres sont une trace, et souvent la seule qui nous reste.

L'inventaire de sa correspondance fait état de 372 correspondants pour 1890 lettres, plus une vingtaine de lettres dont le correspondant est inconnu.<sup>5</sup> L'ensemble de correspondants



	<i>Mathématiques</i>	<i>Phys./Chim./Ing.</i>	<i>Astronomie</i>	<i>Autre</i>	<i>Total</i>
Individus	99	61	44	171	375
% du total	26	16	12	46	100

TAB. 2 – La distribution disciplinaire des correspondants de Poincaré.

scientifiques le plus important est celui des mathématiciens, avec 99 individus. (Pour les besoins de l'analyse, un mathématicien est quelqu'un qui enseigne les mathématiques au lycée ou à l'université.)

Après les mathématiciens viennent les physiciens. Qui sont-ils, et pourquoi les avoir mis ensemble dans ce volume, à l'exclusion d'autres correspondants ? Parmi une soixantaine de correspondants figurant dans ce volume, on trouve cinq chimistes, cinq ingénieurs, et cinquante-et-un physiciens, si on admet une définition suffisamment large de ce dernier métier. Nous admettons en tant que physicien tout professeur de physique générale, électricité, physique mathématique, ou mécanique rationnelle. Cette définition comprend 45 des 51 correspondants physiciens ; les six autres ont tous publié sur des questions de physique. Certains correspondants physiciens font de la chimie et de la physique, comme Svante Arrhenius, et le couple Curie, si bien qu'une distinction entre les deux disciplines a peu de sens. Il en va de même pour des correspondants comme André Blondel, ingénieur au service des phares, avant d'être professeur d'électricité au conservatoire national des arts et métiers. Poincaré, lui aussi, commence sa vie professionnelle comme ingénieur (des mines), avant d'intégrer la faculté des sciences de Caen en tant que chargé de cours d'analyse (1880) ; il enseignera par la suite à la Sorbonne l'analyse (1881), la mécanique physique et expérimentale (1885), avant d'être nommé à la chaire de physique mathématique et calcul des probabilités (1886), comme nous l'avons déjà mentionné.<sup>6</sup>

Une troisième catégorie disciplinaire concerne les astronomes et géodésiens, comprenant tous ceux qui enseignent l'astronomie ou sont affiliés à un observatoire ou un service des cartes (comme le bureau de longitudes à Paris). Tous les autres correspondants de Poincaré, y compris les philosophes, les membres de sa famille, les agents administratifs, les hommes politiques, figurent dans une catégorie à part ("Autre").

Poincaré compte presque autant de correspondants mathématiciens (99) que de correspondants physiciens, chimistes, ingénieurs et astronomes ensemble (105). Néanmoins, un correspondant sur quatre est mathématicien, ce qui est une mesure de l'implication de Poincaré dans des activités autre que celles liées aux mathématiques.

Prenons ensuite l'ensemble de la correspondance passive avec des physiciens, chimistes, et ingénieurs. Alors qu'un correspondant sur trois dans cet ensemble est théoricien, les trois échanges les plus suivis concernent les expérimentateurs : l'universitaire nancéien René Blondlot (29 lettres passives), un écrivain touche-à-tout, Gustave Le Bon (21 actives, 3 passives), et le jeune Victor Crémieu (18 lettres actives, 3 lettres passives). Les échanges avec des théoriciens ne sont pas négligés par Poincaré, mais ils ne sont pas aussi riches. Les trois échanges les plus importants avec des théoriciens sont ceux avec Alfred Potier (3 actives, 17 passives), William Thomson (6 actives, 11 passives), et Heinrich Hertz (6 actives, 9 passives).



La correspondance avec Hertz est remarquable à plus d'un titre, mais il y a un détail en particulier qui la distingue des autres : Poincaré prend soin d'écrire la date de sa lettre, alors qu'il la néglige systématiquement ailleurs. Croyait-il que sa correspondance avec Hertz devait être éditée un jour ? Qu'en est-il alors des autres ? Quoi qu'il en soit, l'inventaire de la correspondance de Poincaré montre qu'il entretenait pendant presque toute sa carrière scientifique un réseau de physiciens français et étrangers, dont l'existence confère un sens à la sélection de correspondants physiciens, chimistes et ingénieurs contenue dans ce volume.

## Notes

<sup>1</sup>La tendance nationale est néanmoins vers la décentralisation des facultés des sciences en France entre 1873 et 1914, comme le montre T. Shinn (1979).

<sup>2</sup>La bibliographie complète de Poincaré est disponible sur le site web des Archives Henri Poincaré (CNRS, UMR 7117) : [www.univ-nancy2.fr/poincare](http://www.univ-nancy2.fr/poincare).

<sup>3</sup>Pour les besoins de l'analyse disciplinaire, les trois titres en question sont comptabilisés séparément.

<sup>4</sup>Parmi ces articles on trouve une contribution en physique théorique, "Sur la dynamique de l'électron" (1906f). En publiant ce travail, Guccia voulait ouvrir sa revue aux mathématiques appliquées, comme l'observe A. Brigaglia et G. Masotto (1982, 261).

<sup>5</sup>L'inventaire de la correspondance et des numérisations d'une sélection de lettres peuvent être consultés sur le site internet des Archives Henri Poincaré (note2).

<sup>6</sup>Selon notre critère d'inclusion, nous aurions pu inclure dans le volume 2 la correspondance entre Poincaré et G.H. Darwin, professeur de physique expérimentale et d'astronomie à l'université de Cambridge. Il nous semble préférable de publier ce dernier échange dans le troisième volume. De même, la correspondance entre Poincaré et Joseph Bertrand, professeur d'analyse à l'École polytechnique et professeur de physique générale et mathématique au Collège de France, sera publiée dans le quatrième volume.

## Remerciements

Depuis le début des travaux d'édition du tome 2 de la Correspondance d'Henri Poincaré en 1999, les éditeurs ont bénéficié du soutien d'un grand nombre de personnes et d'institutions. Nous remercions d'abord François Poincaré, qui nous a offert un accès libre aux documents de son grand-père Henri Poincaré, et nous a autorisé à publier son contenu. Nous remercions Florence Greffe de son soutien constant au projet d'édition, et de nous avoir autorisé à publier le fonds Poincaré aux archives de l'Académie des sciences. Des documents du fonds Poincaré à l'Académie royale suédoise des sciences sont publiés ici avec l'aimable autorisation de Tore Frängsmyr, directeur du centre pour l'histoire des sciences, Stockholm. Nous remercions également Karl Grandin, Maria Asp Romefors, et Anne Miche de Malleray du centre pour l'histoire des sciences, pour l'accueil qu'ils nous ont fait à Stockholm.

Pour l'autorisation de publier les documents d'archives dans leurs collections, nous remercions Harry Leechburch (Boerhaave Museum), Ellen Cordes (Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University), les syndics de la bibliothèque de l'université de Cambridge, Monika Radau (Röntgen Museum), John Strom (Carnegie Institution), Jane Siegel (Rare Book and Manuscript Library, Columbia University), Eva A. Mayring (Deutsches Museum), James Stimpert (Ferdinand Hamburger Archives of the Johns Hopkins University), la commission des bibliothèques et archives de l'Institut de France et sa présidente, Hélène Carrère d'Encausse, Mikael Rågstedt (Institut Mittag-Leffler), Godelieve Bolten (Noord Hollands Archief), le président et conseil de la société royale de Londres, Anne J. Kox (Stichting Pieter Zeeman), M. et Mme Henri Darrieus, et Mme Bernadette Sorel.

L'étude de la correspondance de Poincaré en vue de son annotation nous a donné l'occasion de chercher conseil auprès de nos collègues historiens. Nous remercions Olivier Darrigol pour ses remarques judicieuses sur une version préliminaire du volume, ainsi que Karin Blanc, Michel Paty, Arthur I. Miller, et Richard Staley pour leurs conseils amicaux. Nous nous sommes souvent référés aux études de Mary-Jo Nye sur les physiciens français ; elle nous a fait un grand service en communiquant ses notes de recherche sur Gustave Le Bon.

Les services documentaires des universités de Nancy ont été d'un grand soutien. Nous remercions Anne-Pascale Parret du service commun de documentation de la faculté des sciences de Nancy pour son accueil. Marianne Wehrli du service de prêt entre bibliothèques de l'université Nancy 2 nous a fait parvenir une montagne de documents ; nous la remercions chaleureusement.

Gerhard Heinzmann, fondateur et directeur des Archives Henri Poincaré, a eu le courage de lancer le projet d'édition de la correspondance de Poincaré ; nous le remercions de son soutien constant, ses conseils éclairés, et sa patience pendant plus de sept ans de travail éditorial. Nous remercions enfin nos collègues des Archives Henri Poincaré pour leur collaboration amicale : Philippe Nabonnand, Manuel Rebuschi, Tony Volpe, et Laurent Rollet. L. Rollet a trouvé plusieurs lettres inédites de Poincaré, et nous a fait profiter à maintes reprises de sa connaissance de la vie de Poincaré ; il a fait aussi l'essentiel de l'annotation des lettres de Calinon. Anny Bégard, Pierre-Édouard Bour, Prosper Doh, Lydie

Mariani, et Geneviève Schwartz ont tous soutenu le travail éditorial ; nous les remercions vivement.

Le projet d'édition a été soutenu financièrement par la région Lorraine, la communauté urbaine du Grand Nancy, l'université Nancy 2, et le centre national de la recherche scientifique. Un des membres de l'équipe éditoriale a bénéficié d'un semestre sabbatique afin de rédiger ce volume ; il en remercie le conseil scientifique de l'université Nancy 2.

## Archives dépositaires

<i>Archives</i>	<i>Adresse</i>	<i>Pays</i>
Cambridge Univ. Library	Department of Manuscripts and University Archives, West Road, CB3 9DR Cambridge	Royaume-Uni
Royal Society Library	6-9 Carlton House Terrace, SW1Y 5AG London	Royaume-Uni
Académie des sciences	Services des Archives, 23 Quai de Conti, 75006 Paris	France
Archives Henri Poincaré	Université Nancy 2, 23 bd Albert I <sup>er</sup> , 54015 Nancy	France
Archives Paul Langevin	Bibliothèque de l'École supérieure de physique et de chimie industrielle, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris cedex 05	France
Archives nationales	60 rue des Francs-Bourgeois, 75141 Paris cedex 03	France
Bibliothèque de l'Institut	23 Quai de Conti, 75006 Paris	France
Bibliothèque nat. de France	58 rue Richelieu, 75002 Paris	France
Collection particulière	75017 Paris	France
Collection particulière	77240 Cesson	France
Collection particulière	92330 Sceaux	France
Deutsches Museum München	Archive Sondersammlungen und Do- kumentationen, 80306 München	Allemagne
Deutsches Röntgen Museum	Handschriftensammlung, Schwelmers- trasse 41, 42897 Remscheid	Allemagne
Biblioteca del Accademia Nazionale dei Lincei	Via della Lungara 10, 00165 Rome	Italie
Noord Hollands Archief	Kleine Houtweg 18, 2012 CH Haarlem	Pays-Bas
National Library of Oslo	Håndskriftsamlingen, P.O. Box 2674 Solli, NO-0203 Oslo	Norvège
Mittag-Leffler Archives	Institut Mittag-Leffler, Auravägen 17, S-182 62 Djursholm	Suède
Nobel Archive	Royal Swedish Academy of Sciences, Box 50005, SE-104 05 Stockholm	Suède
Collection particulière	2114 Fleurier	Suisse
Carnegie Institute of Wash- ington	1530 P Street NW, Washington DC 20005-1910	États-Unis
Ferdinand Hamburger Jr. Archives	The Johns Hopkins University, Balti- more MD 21218	États-Unis
Columbia University	Rare Book and Manuscript Library, New York	États-Unis

## Abréviations

<i>Abrév.</i>	<i>Meaning</i>	<i>Signification</i>
ADft	Autograph draft	Brouillon autographe
ADftS	Autograph draft signed	Brouillon autographe signé
AC	Autograph postcard	Carte postale
ACS	Autograph postcard signed	Carte postale signée
AL	Autograph letter	Autographe lettre
ALS	Autograph letter signed	Autographe lettre signée
ALSX	ALS photocopy	ALS photocopie
AD	Autograph document	Document autographe
ADS	Autograph document signed	Document autographe signé
PD	Printed document	Document imprimé
PTrL	Printed transcript of a letter	Transcription imprimée d'une lettre
TDS	Typed document signed	Document dactylographié signé
TL	Typed letter	Lettre dactylographiée
TLS	Typed letter signed	Lettre dactylographiée signée
TrL	Transcript of a letter	Transcription d'une lettre

## Avertissement

Notre édition de la correspondance d'Henri Poincaré vise à la fois un lectorat de chercheurs, et un lectorat de curieux d'esprit. Ainsi, nous avons privilégié la lisibilité des textes, à condition qu'elle ne fasse pas obstacle au travail de recherche. La transcription et l'annotation des documents se sont accomplies en suivant des règles établies afin d'atteindre cet objectif.

Le format des transcriptions est standardisé. Chaque document est numéroté et introduit par un titre en caractères gras qui indique le nom du destinataire. A la fin de chaque document, le type, le nombre de pages et la provenance sont indiqués en caractères gras. Si le document transcrit a été publié ailleurs, nous indiquons la référence bibliographique. Entre ces deux éléments se trouve la transcription de la lettre. Celle-ci est également standardisée : la date est indiquée à la première ligne, suivie par l'en-tête, transcrit en petites majuscules. Les lettres sans date sont datées par les éditeurs, selon leur contenu ; la date est alors entourée de crochets. L'adresse de retour vient ensuite, justifiée à droite avec la date et l'en-tête. Nous mettons souvent l'en-tête et l'adresse de retour sur une même ligne, en rajoutant un tiret entre les éléments.

Nous n'indiquons pas la pagination du manuscrit, mais la division en paragraphes du corps de la lettre est celle de l'auteur, chaque fois que nous la discernons. Dans les autres cas, nous introduisons cette division en fonction du style de l'auteur, tant que nous pouvons le discerner. La cassure des mots n'est pas indiquée par notre transcription.

Les formules mathématiques sont transcrites avec les symboles d'origine, mais afin de faciliter leur lecture, nous les mettons souvent seule sur une ligne, alors qu'elles paraissent au milieu des phrases dans le manuscrit. Lorsque une formule est numérotée dans le manuscrit, le chiffre est transcrit systématiquement entre parenthèses à droite de la formule. Tous les mots sous-lignés du manuscrit sont rendus en italiques. Nous avons également rendu les titres de périodiques en italiques, mais nous avons négligé de souligner les rares formules mathématiques qui sont soulignées dans le manuscrit.

Les annotations sont de deux types, morphologique et critique. Les notes morphologiques se signalent par des lettres minuscules placées au-dessus de la ligne de texte, qui renvoient aux notes de bas de page. Les variantes sont indiquées à la discrétion des éditeurs ; ainsi, les ratures et les rajouts ne sont pas annotés systématiquement. Lorsque l'enveloppe de la lettre a été préservée, ce fait est mentionné dans une note morphologique.

Les notes critiques se signalent par des chiffres arabes placées au-dessus de la ligne de texte, qui renvoient aux notes de fin de lettre (ou fin de document). La finalité des notes critiques est de faciliter la compréhension de la lettre par un lecteur averti. Ainsi, les individus, les lieux, et les événements sont identifiés par des notes critiques, lorsque ces éléments ne sont pas précisés dans le corps de la lettre. Un individu mentionné dans le corps d'une lettre est identifié brièvement par une note critique, la première fois qu'on rencontre son nom. Ainsi, pour un individu donné on peut localiser sa note biographique en consultant l'index nominum.

La correspondance de chaque correspondant est transcrite dans son intégralité, sauf si nous disposons d'une lettre et une version brouillonne de cette même lettre. Dans ce cas, nous transcrivons la lettre uniquement, en indiquant l'existence du brouillon. Les

échanges sont présentés en forme de chapitres, introduits par des éléments biographiques, et une description du contexte de l'échange. L'introduction du chapitre est rédigée dans une des langues de l'échange, alors que les notes correspondent à la langue du document annoté. Toutefois, nous admettons deux exceptions : l'introduction de la correspondance avec Victor Crémieu est en anglais, et l'annotation de la lettre de Hermann Ebert est en français.

Nous nous sommes servis des sources usuelles d'information biographique ; si aucune référence bibliographique n'est précisée pour un détail biographique, il est emprunté d'une de ces ouvrages : *Dictionary of Scientific Biography*, *Neue Deutsche Biographie*, *J.C. Poggendorffs biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften*, *Les professeurs de la faculté des sciences de Paris (1901–1939)* de Charle et Telkes (1989), et l'*Index biographique des membres et correspondants de l'Académie des sciences*. En ce qui concerne les polytechniciens, nous nous référons au registre des matricules (Archives de l'École polytechnique).

Le dernier chapitre du volume contient des documents divers, présentés en ordre chronologique. Il s'agit de textes d'accompagnement, signalés dans les présentations et les notes, qui enrichissent la lecture des échanges dans les chapitres précédents : des rapports de candidature ou de thèse, toutes les lettres de nomination signées par Poincaré pour le prix Nobel de physique, et une sélection de lettres de nomination de Poincaré pour ce même prix. Nous avons transcrites toutes les lettres de nomination signées par un correspondant de Poincaré, sans distinction disciplinaire. Ainsi, par exemple, toutes les lettres de nomination de Poincaré pour le prix Nobel de physique rédigées par Gaston Darboux sont transcrites dans ce chapitre, alors que sa correspondance se trouvera dans le quatrième volume. L'ensemble des lettres de nomination de Poincaré pour le prix Nobel peut être consulté en ligne sur le site web des Archives Henri Poincaré ([www.univ-nancy2.fr/poincare/](http://www.univ-nancy2.fr/poincare/)).

Les insertions éditoriales sont indiquées par des crochets, sauf dans les formules, où les modifications sont indiquées par une note morphologique. Les crochets d'origine dans le texte des lettres sont signalés par une note morphologique uniquement s'ils prêtent à confusion. Alors que les noms propres sont transcrits avec l'orthographe d'origine, nous corrigeons silencieusement, avec discrétion, les autres fautes d'orthographe. Poincaré ne commet presque jamais de fautes d'orthographe, alors que certains de ses correspondants étrangers ont du mal à faire une phrase sans faute. Pour savoir si une faute d'orthographe donnée a été introduite dans la transcription par inadvertance, la plupart du temps il suffit de se référer à une version numérisée du manuscrit sur le site web des Archives Henri Poincaré.

# Chapitre 1

## Joseph Sweetman Ames

Joseph Sweetman Ames (1864–1943) graduated from Johns Hopkins University in 1886, then went to Berlin to work in Hermann Helmholtz' laboratory. In 1887 he returned to Hopkins to study spectroscopy with Henry Rowland, working from 1888 to 1891 as an assistant in the latter's laboratory. He defended his thesis in 1890, and became an associate professor of physics at Hopkins in 1891. Ames spent his entire career at Hopkins; he was promoted to professor in 1899, served as provost from 1926 to 1929, and university president from 1929 to 1935. He succeeded Rowland in 1901 as director of the Physical Laboratory.<sup>1</sup>

Ames probably met Poincaré during the physics congress held from 6 to 12 August 1900 in Paris, where he was a member of the US delegation, and delivered a paper on the mechanical equivalent of heat (1900). Poincaré's letter to Ames concerns another student of Rowland's, Harold Pender (§ 45), who was in Paris in order to help resolve his conflict with Victor Crémieu (§ 17) over the reality of the Rowland effect. Pender solicited a \$150 extension of his grant from the executive committee of the an extension of his Carnegie grant in order to prolong his stay in Paris. In particular, Pender wanted to ensure completion of the experiments then in progress, and to demonstrate the disputed Rowland effect before the French Physical Society, which had invited him to its Easter meeting.<sup>2</sup>

### Notes

<sup>1</sup>For accounts of Ames' career see (Crew, 1944) and the *DSB*.

<sup>2</sup>Ames to D.C. Gilman, 27.03.1903, Harold Pender file, Carnegie Institution of Washington. For an overview of the Crémieu-Pender experiments, see the correspondence with Crémieu (§17).



## 1.1 Poincaré à Ames

[Ca. 02.1903]<sup>1</sup>

I congratulate myself more and more in having taken the initiative in bringing to Paris Mr. Pender. The results already obtained do not allow any further doubt that this question, so controverted, is going to be cleared up, most probably according to the views of Mr. Rowland. The experiments of Mr. Pender have been repeated successfully besides they have operated with two disks nus . . . and the results have been still more positive . . . . There remain still further questions to be settled from which it is necessary that Mr. Pender should remain somewhat longer in Paris and it would be very desirable that he should bring before the Society of Physics, after Easter, in connection with Mr. Cremieu, the results obtained.<sup>2</sup> If you can get from the Carnegie Institution a further subvention allowing this prolongation of Mr. Pender's absence all the friends of science will be very grateful.

### **TTrL 1p. Harold Pender file, Carnegie Institution of Washington.**

<sup>1</sup>The document bears a Carnegie Institution date stamp, "MAR 28 1903", and a pencilled annotation, "From DCG", suggesting that the letter was transmitted to Daniel Coit Gilman. Gilman (1831–1908), served as the first President of Johns Hopkins University from 1876 to 1891, and as President of the Carnegie Institution of Washington from 1902 to 1904. The typed transcription begins with the sentence: "Substance of a letter from Professor Poincaré to Prof. Ames."

<sup>2</sup>On these experiments see the correspondence with Victor Crémieu (§ 17). Crémieu and Harold Pender (§ 45) presented the results of their collaboration on 17.04.1903 to the *société française de physique*, confirming those obtained earlier by Pender (1903a).

## Chapitre 2

# Svante Arrhenius

Svante Arrhenius (1859–1927) fait ses études à l’université d’Uppsala à partir de 1876, où il soutient en 1884 une thèse en français, intitulée “Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes.” Il enseigne la chimie physique à Uppsala, puis obtient une bourse d’études, ce qui lui permet de se rendre en 1886 auprès de Wilhelm Ostwald à Riga, Friedrich Kohlrausch à Würzburg, Boltzmann à Graz (1887), et J.H. van’t Hoff à Amsterdam (1888). Les contributions d’Arrhenius pendant ces années de mobilité à la théorie de la dissociation des électrolytes (comme on l’appelera plus tard) lui valent une chaire de physique générale à la Höghskola de Stockholm en 1895, et le prix Nobel de chimie en 1903. Afin de prévenir son expatriation à Berlin, l’Académie royale suédoise des sciences (dont il est membre depuis 1901) le nomme directeur du nouveau département de chimie physique de l’Institut Nobel en 1905.<sup>1</sup>

Au début du XX<sup>e</sup> siècle Arrhenius rédige un traité (1903) de physique du cosmos, et s’intéresse à la finitude et la mort calorifique de l’univers (entre autres questions) (1910). Poincaré (1911b) ne partage pas toujours l’avis d’Arrhenius, et ses critiques incitent la lettre que nous publions ici.

### Notes

<sup>1</sup>Crawford (1996, 217), (1989, 237). A propos de la nomination d’Arrhenius à la Höghskola, voir Poincaré (1999, § 130). Sur la vie d’Arrhenius, voir le *DSB*, et Crawford (1996).

## 2.1 Arrhenius à Poincaré

Experimentalfattat le 19 Dec. 1911

Très honoré maître,

J’ai lu avec le plus grand intérêt votre livre sur les hypothèses cosmogoniques.<sup>1</sup> Je vous remercie beaucoup pour cette lecture et spécialement pour votre critique très aimable de mes tentatives dans ce domaine.

S'il m'est permis de faire une remarque, je voudrais dire que la critique p. 251 ne me semble pas convaincante.<sup>2</sup> La pression de radiation a une valeur sensible seulement dans le voisinage des soleils. P. ex. une poussière repoussée par la pression de radiation du soleil aurait gagné sa vitesse définitive à un quart de pour cent près pendant le passage du soleil jusqu'à l'orbite de la terre. Si la poussière vient plus tard dans des régions obscures elle retient sa vitesse jusqu'à ce qu'elle entre en collision avec une autre particule, avec laquelle elle partage la vitesse, de sorte que toutes les deux s'éloignent du soleil. De telle manière les environs d'un amas d'étoiles doivent être balayés dans toutes directions et la matière doit se dissiper vers l'infini, c.à.d. si l'Univers matériel est fini il doit à la fin s'évanouir tout comme l'énergie rayonnante.<sup>3</sup>

J'ai été conduit dans le dernier temps à perfectionner mon opinion sur la naissance de la voie galactique. Il me semble très improbable qu'une étoile de grandeur suffisante ait été heurtée contre une autre de la même grandeur. Mais les grandes découvertes des dernières années d'un Kapteyn, d'un Campbell et d'un Pickering m'ont aidé à surmonter cette difficulté. Les deux courants d'étoiles de Kapteyn qui se traversent dans notre Univers, duquel ils constituent la plus grande partie, doivent au commencement avoir consisté de gaz atténués.<sup>4</sup>

Si deux tellement énormes courants de gaz atténués se rencontrèrent, ce qui est aussi probable que la rencontre de deux courants d'étoiles, ils se seraient arrêtés et devraient commencer un mouvement rotatoire tout comme une Nova. Les gaz non absorbants (H et He n'absorbent pas la radiation dans des circonstances ordinaires, ni non plus l'oxygène ni l'azote) sont absolument soumis à la gravitation, et le frottement intérieur est très grand même aux pressions les plus basses. Une nébuleuse spirale doit prendre naissance et la voie lactée est (ou mieux était) une telle. J'ai pris la photographie excellente de l'observatoire de Mt Wilson représentant la nébuleuse bien connue des chiens de chasse et donné une place au soleil, de laquelle la spirale prendrait l'aspect de la voie lactée. J'ai moi-même été surpris de la correspondance à peu près parfaite avec la réalité.<sup>5</sup>

J'espère de bientôt pouvoir vous envoyer une copie de ce mémoire.<sup>6</sup>

Je veux vous remercier pour votre grande aimabilité envers moi dans l'année à peu près passée et vous souhaiter une bonne fête de Noël et aussi un nouvel an plein de succès comme les ans passés.<sup>7</sup>

Agréez, cher maître, l'expression de ma vive admiration et de mon dévouement profond.  
Svante Arrhenius

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Poincaré (1911b).

<sup>2</sup>La critique de Poincaré (1911b, 251) porte sur un argument d'Arrhenius pour l'infinitude de l'espace, qui invoque la pression de radiation :

M. Arrhenius pense que le Monde est infini. S'il n'en était pas ainsi, dit-il, les poussières seraient chassées indéfiniment par la pression de radiation, elles ne seraient pas captées en chemin, et le monde finirait par s'évanouir. Cette raison n'est pas convaincante, car on peut penser qu'une fois arrivées à de très grandes distances, les poussières ne subissent plus la pression de radiation, la lumière étant toujours plus ou moins absorbée dans son parcours.

<sup>3</sup>S. Arrhenius ne croit pas à la mort calorifique de l'univers prévue par la deuxième loi de la thermodynamique selon R. Clausius, H. Helmholtz, W.J.M. Rankine, W. Thomson, et Poincaré. Il veut contourner cette loi

en faisant intervenir un processus de maintien de la chaleur des soleils et des nébuleuses qui rappelle l'image du démon de Maxwell. Le "démon d'Arrhenius", comme Poincaré l'appelle, est un mécanisme automatique qui fait appel à la pression de radiation comme vecteur d'un échange de particules allant des soleils aux nébuleuses pour contrebalancer les pertes d'énergie et de matière de ces deux sources thermiques cosmiques, pour maintenir les nébuleuses froides et les soleils chauds. Poincaré critique cette hypothèse (1911b, 254) en examinant le rendement d'une telle machine thermique, et propose (1911a) de la compléter pour en dépasser les insuffisances.

<sup>4</sup>J.C. Kapteyn (1851–1922), astronome néerlandais. W.W. Campbell (1862–1938), directeur de l'Observatoire Lick, a catalogué la vitesse radiale d'un grand nombre d'étoiles. E.C. Pickering (1846–1919), directeur de l'Observatoire de Harvard, a découvert en 1889 la première étoile double.

<sup>5</sup>Le terme nébuleuse désignait aussi bien les galaxies que les nébuleuses. Certaines nébuleuses, dont la structure spirale fut découverte au milieu du dix-neuvième siècle, avaient déjà été résolues en amas d'étoiles par l'analyse spectrale ; voir Poincaré (1911b, 250).

<sup>6</sup>Arrhenius (1912b).

<sup>7</sup>Arrhenius prononça une série de conférences Paris (1912a) entre le 6 et le 13 mars 1911. Le 13 mars, il fut élu correspondant pour la section de physique générale à l'Académie des sciences (1968, 18).

## Chapitre 3

# Albert Victor Bäcklund

Albert Victor Bäcklund (1845–1922) fait ses études à l’université de Lund, où il obtient le doctorat en 1868. A partir des travaux de Sophus Lie, Bäcklund publie entre 1875 et 1882 une série d’articles sur la théorie des transformations, qui donnent lieu à ce qu’on nommera plus tard les transformations de Bäcklund (Goursat, 1925). En 1878, il est nommé professeur extraordinaire de mécanique et de physique mathématique à l’université de Lund.

La lettre de Bäcklund transcrite ici a pour toile de fond sa candidature pour la chaire de physique à l’université de Lund en 1899. Bäcklund est soutenu par un mathématicien à l’université de Copenhague, H.G. Zeuthen (1839–1920), qui écrit en sa faveur à Poincaré (§ 62.4), lui demandant son avis sur les travaux de Bäcklund. Poincaré lui envoie une réponse (que nous n’avons pas retrouvée), et Bäcklund en remercie Poincaré. Bäcklund répond, en même temps, à certaines critiques de sa théorie de l’électricité et de la lumière contenues dans la réponse perdue de Poincaré.

Bäcklund est nommé professeur de physique à Lund en 1900 (Meijer et al., 1904–1926, IV, 830).

### 3.1 Bäcklund à Poincaré

Lund, le 12 Févr. 1899

Monsieur,

Je vous suis très obligé parce que vous avez bien voulu répondre à mon désir, exprimé par M. Zeuthen, de me faire part de votre opinion sur mes recherches physiques résumées dans mon mémoire intitulé : *Elektrische und magnetische Theorien*.<sup>1</sup> Mais je vous prie aussi, Monsieur, de me permettre dans cette lettre de faire quelques remarques sur vos objections contre le dit mémoire. Comment ces pulsations sont elles entretenues ? vous demandez. Quant aux pulsations brusques j’ai prouvé p. 13 du mémoire cité qu’à cause de la composition des corps ponctuels de noyaux et d’atmosphères, des ondes condensées ou raréfiées de l’éther environnant produisent précisément les pulsations en question, et

p. 19, comparée à p. 17 du même mémoire, j'ai démontré que des ondes composées de condensations au même degré que de raréfactions, comme le sont les ondes excitées par les pulsations brusques des points dans l'éther environnant, vont se diviser partiellement quand elles frappent un corps, et que de plus ce corps, s'il est un conducteur parfait et va être exposé à une longue suite d'ondes provenant d'un agrégat de points électrisés (pulsant brusquement), va aussi porter dans sa couche superficielle des parties séparées de ces ondes-là, condensées à quelques places de la dite couche et raréfiées à d'autres. Dans un conducteur chargé d'électricité d'une seule sorte, une onde condensée ou bien raréfiée se conserve pendant quelque temps, à savoir dans la couche superficielle du conducteur par des réflexions itérées aux parois de cette couche. En même temps se sont formées ces parois conformément à l'onde (voir aussi « *Wellentheorie* » § 5 p. 425–432).<sup>2</sup>

Vont elles (les pulsations) demeurer constantes ? continuez vous. Certainement non. Une pulsation brusque d'un point finira peu après que l'onde extérieure qui l'a causée, a quitté le point. (P. 13).

Quant aux pulsations harmoniques elles sont engendrées par des énergies immenses des noyaux des points, ces énergies appartenant aux mouvements et ondes internes. Ces pulsations ne peuvent non plus demeurer constantes. Ainsi diminuent les masses sans cesse, mais leurs rapports se conservent invariables. Les unités de la masse et du temps diminuent toujours en valeurs absolues, mais très lentement, ainsi qu'il fallût seulement de modifier les réflexions usitées sur l'état futur de l'univers.<sup>3</sup>

Le principe de la conservation de l'énergie devient une conséquence immédiate du principe des forces vives et de cet autre principe que j'ai adopté : qu'il n'y a d'autres forces que des pressions entre les molécules des corps et celles de l'éther. L'éther est lui-même un mélange de deux gaz, l'un ayant sa densité infiniment petite par rapport à celle de l'autre et celui-ci la sienne encore infiniment petite par rapport à celle des corps. De l'éther lumineux j'ai parlé p. 446 de mon « *Wellentheorie* » .

Mais je crois que la plus importante partie de « *Wellentheorie* » est celle où j'ai déduit et les forces pondéromotrices et les forces électromotrices des courants électriques sans avoir aucun recours à des hypothèses particulières sur l'effet des éléments des courants (§ 6, 7).

Permettez-moi aussi de dire un peu de mots sur mon explication du magnétisme terrestre. J'ai supposé que le soleil et tous les autres corps célestes sont magnétiques en quelque degré et que les variations magnétiques sont pour la plupart dues au magnétisme et aux courants électriques du soleil. Mais il me semble résulter des observations que les effets de là ne sont jamais directs. Cela tient, dis-je, au caractère magnétique de l'atmosphère, surtout de son oxygène, en vertu de quoi l'atmosphère agit comme d'écran magnétique. Une enveloppe très mince de fer suffit pour défendre à l'action constante magnétique. Avec de matière moins magnétique que de fer on y réussira encore au moyen de plusieurs enveloppes ou d'une seule plus épaisse. J'ai donc démontré 1<sup>o</sup> qu'il ne soit pas absurde de supposer que tout le magnétisme de la terre soit graduellement induit par le soleil, et 2<sup>o</sup> que les variations magnétiques sont telles qu'on les observerait au sol de la terre si l'atmosphère agissait comme d'écran magnétique parfait, par rapport à de longues variations. Mes formules ne donnent évidemment que les premiers termes des séries des polynômes de Legendre.

Excusez moi, Monsieur, que je vous ai écrit si longue une lettre et que j'ai si cruellement torturé votre langue. Veuillez agréer mes sincères remerciements parce que vous avez bien voulu me signaler votre opinion sur les dites mémoires et soyez assurés, Monsieur, de mes sentiments les plus sincèrement dévoués.

A. V. Bäcklund

**ALS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Voir Bäcklund (1898), et un fragment de la lettre de Zeuthen (§62.4).

<sup>2</sup>Bäcklund (1889).

<sup>3</sup>Si l'unité temporelle est définie par le période d'un pendule dans un champ de gravitation, et les masses diminuent comme le veut Bäcklund, alors celle-ci s'agrandit. Les "réflexions usitées sur l'état futur de l'univers" sont vraisemblablement celles de W. Thomson et de H. von Helmholtz, qui avaient signalé que, d'après les lois de la thermodynamique, l'univers atteindrait un jour un état d'équilibre thermique, et que cet état est incompatible avec toute forme de mouvement. Cette conclusion sera reprise par Poincaré dans un article populaire (1911c, 282). A propos de la réception culturelle de l'idée de la mort du soleil lors de la deuxième moitié du dix-neuvième siècle, voir Gillian Beer (1989).

## Chapitre 4

# Henri Becquerel

Henri Becquerel (1852–1908) est le fils d'Edmond Becquerel,<sup>1</sup> et petit-fils d'Antoine Becquerel.<sup>2</sup> Ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur des ponts et chaussées, c'est au Muséum que Becquerel effectue ses recherches : de 1875 à 1882 sur l'optique (rotation du plan de polarisation de la lumière soumise à des champs magnétique), en 1883 sur les spectres infrarouges et de 1886 à 1888 sur l'absorption de la lumière par les cristaux. Il étudie la dépendance de l'absorption en fonction du plan de polarisation de la lumière incidente et de sa direction de propagation à travers le cristal. Il obtient son doctorat sur ce sujet en 1888. Élu à l'Académie des Sciences le 7 mai 1889, il succède à son père comme professeur au Muséum et au conservatoire national des arts et métiers, ainsi qu'à Alfred Potier, en 1891, dans l'enseignement que ce dernier dispensait à l'École polytechnique, avant d'occuper sa chaire lorsque Potier prend sa retraite en 1895.<sup>3</sup>

En 1896, il apprend de Poincaré la découverte des rayons X par W.C. Röntgen, et découvre la même année ce qu'on appellera la radioactivité. Selon un manuscrit de Poincaré (§ 62.19), son hypothèse à propos de l'origine des rayons X, qui devaient accompagner la luminescence produite par l'impact des rayons cathodiques sur une substance (1896c; 1896d), aurait amené Becquerel à découvrir la radioactivité des sels d'uranium (émission de rayons X et luminescence, même en l'absence d'excitation par les rayons ultraviolets de la lumière solaire), mais selon Becquerel (1903, 3), c'est lui qui a donné l'idée à Poincaré. En janvier 1903, Poincaré et ses collègues proposent Becquerel et Pierre Curie (§ 19) pour le prix Nobel de physique (voir § 62.9), qui leur est décerné par l'Académie royale suédoise des sciences, ainsi qu'à Marie Curie (§ 18).

### Notes

<sup>1</sup>Edmond Becquerel (1820–1891), physicien et directeur du Muséum d'histoire Naturelle.

<sup>2</sup>Antoine Becquerel (1788–1878), physicien et professeur au Muséum d'histoire naturelle.

<sup>3</sup>Sur la carrière de H. Becquerel voir le *DSB* et Lemartin de Raspede (2002).



## 4.1 Poincaré à Becquerel

[Ca. 16-20.01.1882]

Mon cher ami,

Si tu le permets je vais mettre le point sur le papier.<sup>a</sup> Je prends mes deux solénoïdes, je fais passer le courant, je les rapproche d'un inf. petit  $d\ell$ , j'interromps le courant et je ramène mes solénoïdes à leur situation primitive. Nous devons nous retrouver à,<sup>b</sup> puisque nous avons décrit un cycle. Or soient  $E$  et  $E'$  les deux forces électrom[agnétiques] des deux piles,  $i$  et  $i'$  les deux intensités,  $Ai i' d\ell$  le travail produit par le rapprochement,  $\varepsilon i' \frac{d\ell}{dt}$  et  $\varepsilon' i \frac{d\ell}{dt}$  les deux forces électrom. d'induction. Nous aurons :<sup>1</sup>

	pendant l'aller	pendant le retour
dépense de la 1 <sup>re</sup> pile	$Ei dt$	0
dépense de la 2 <sup>e</sup> pile	$E'i' dt$	0
Travail mécan.	$Ai i' d\ell$	0
Chaleur dans le 1 <sup>er</sup> circuit	$(E - \varepsilon i' \frac{d\ell}{dt}) i dt$	0
Chaleur dans le 2 <sup>d</sup> —	$(E' - \varepsilon' i \frac{d\ell}{dt}) i' dt$	0

d'où je tire :

$$A = \varepsilon + \varepsilon'. \quad (1)$$

Je remplace maintenant le second solénoïde par un aimant équivalent de telle sorte que  $A$  et  $\varepsilon$  restent les mêmes. Je fais passer le courant, je rapproche de  $d\ell$  ; j'interromps le courant, j'éloigne, il se produit dans le solénoïde un courant d'intensité  $i''$ . Si l'aimant ne s'est pas désaimanté (et il ne suffirait pas d'une désaimantation passagère mais il faut qu'elle soit permanente), on a décrit un cycle et on doit encore se retrouver à<sup>c</sup>

	pendant l'aller	pendant le retour
dépense de la pile	$Ei dt$	0
Travail mécan.	$Ai i' d\ell$	$-Ai' i'' d\ell$
Chaleur dans le circuit	$(E - \varepsilon i' \frac{d\ell}{dt}) i dt$	$(+\varepsilon i' \frac{d\ell}{dt}) i'' dt$
Chaleur dans l'aimant		$Q$

d'où je tire :

$$Ai'(i - i'')d\ell + \varepsilon i'(i'' - i)d\ell + Q + R = 0$$

( $-R$  étant la perte d'énergie due à la désaimantation, s'il y en a).<sup>2</sup> Ou en tenant compte de (1) :

$$Q + R = -\varepsilon' i'(i - i'')$$

Or je puis faire le second déplacement assez lent pour que  $i''$  soit aussi petit que je veux. Je ne puis croire que  $Q$  soit nul, voici pourquoi, supposons qu'il ne le soit pas,  $R$  devrait être négatif ; alors en répétant un nombre suffisant de fois l'opération en question on désaimanterait complètement l'aimant. Mais alors en faisant l'opération inverse un certain

<sup>a</sup>Le mot "point" est sous-ligné, vraisemblablement par H. Becquerel.

<sup>b</sup>Le mot "à" est sous-ligné, vraisemblablement par H. Becquerel. Poincaré voulait dire "retourner à 0."

<sup>c</sup>Le mot "à" est sous-ligné.

nombre de fois, on pourrait augmenter indéf. l'aimantation ce qui ne se peut puisque la capacité est limitée.

Il faut donc  $Q < 0$ , c'est-à-dire que l'aimant se refroidisse.<sup>3</sup>

Que penses-tu du *point*. Si tu me trouves bête, cela ne fait rien.<sup>4</sup>

Tout à toi,

Poincaré

#### ALS 4p. Collection particulière, Sceaux.

<sup>1</sup>Le tableau comporte deux erreurs de signe. Pour "Travail mécanique" il faut lire :  $-Aidl$ , et pour "Chaleur dans le circuit" il faut lire :  $(+\varepsilon i \frac{d\ell}{dt})idt$ .

<sup>2</sup>Poincaré néglige un facteur  $d\ell$  ; il faut lire plutôt :  $Q + R = -\varepsilon i'(i - i'')d\ell$ .

<sup>3</sup>Poincaré emploie un raisonnement semblable à celui de William Thomson (1878), sauf que ce dernier ne propose pas de répétition de l'opération. A partir des années 1930, la désaimantation adiabatique permet d'abaisser la température d'une substance paramagnétique et d'approcher de très près le zéro absolu.

<sup>4</sup>Becquerel n'accepte pas l'analyse de Poincaré ; voir (§4.2).

## 4.2 Becquerel à Poincaré

Ce 24 janvier 1882

57 rue Cuvier<sup>1</sup>

Mon cher ami,

J'ai mis bien longtemps à te répondre parce que j'aurais mieux aimé causer avec toi plutôt que t'écrire.<sup>2</sup> Ne t'ayant pas vu à l'institut Lundi, et ne pouvant disposer de mes journées je me décide à t'envoyer un mot de réponse.<sup>3</sup> C'est du reste à peu près ce que je t'ai dit il y a Lundi huit jours. Dans la série de transformations que tu fais subir à tes solénoïdes, tu interromps le courant, et tu le rétablis ensuite pour revenir à l'état initial. Or il me semble que dans la mise en équation tu oublies les courants d'induction qui se produisent par le fait même de la rupture du circuit, ou de la fermeture de celui-ci, courant qui est le même que si les solénoïdes s'écartaient à l'infini, ou venaient de l'infini.<sup>4</sup>

En partant de la 2<sup>e</sup> position, interrompant le courant pour le rétablir quand les solénoïdes sont revenus à la 1<sup>re</sup> position tu fais donc la même chose que si tu ne faisais pas cesser le courant et que tu écartais les solénoïdes à l'infini pour les rapprocher ensuite à la distance qui correspond à la 1<sup>re</sup> position.

Le travail est donc exactement le même que si tu revenais directement de la 2<sup>e</sup> position à la 1<sup>re</sup> sans faire cesser le courant, auquel cas tu aurais produit un travail exactement égal et contraire à celui qui résulte de la 1<sup>re</sup> opération.

Quant à la substitution d'un aimant au solénoïde, il se produit dans l'aimant un changement de distribution magnétique. On ne peut considérer que des changements temporaires, car les phénomènes permanents tiennent à l'état moléculaire des corps et échappent jusqu'à présent à tout contrôle théorique. Un changement de distribution magnétique équivaut à un travail puisque le retour à l'état d'équilibre produit un courant d'induction. Que l'aimant s'échauffe ou se refroidisse pendant ce changement de distribution magnétique cela est très vraisemblable, mais il est très probable que les réactions moléculaires ont une grande part dans les phénomènes calorifiques. Ainsi il est reconnu *par expérience*

que lorsqu'on aimante les aimants qui servent pour les machines, en changeant plusieurs fois le sens du courant qui les aimante, ou simplement en interrompant périodiquement celui-ci, les aimants s'échauffent considérablement et il me semble que cet effet est dû au travail moléculaire auquel donne lieu l'aimantation.

Tu vois que ces phénomènes sont fort complexes, surtout lorsque l'on cherche ce qui se passe dans les corps magnétiques, pour lesquels l'état moléculaire joue un rôle capital.

Si tu désires de plus amples renseignements je suis toujours à ta disposition et serai heureux de causer avec toi de tes solénoïdes, en particulier, et de tout en général.

Présente je te prie mes compliments respectueux à madame Poincaré et crois moi,<sup>5</sup>  
ton tout dévoué,

Henri Becquerel

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Cette adresse est celle du Muséum d'histoire naturelle où Edmond Becquerel a son laboratoire.

<sup>2</sup>Becquerel répond à la lettre que Poincaré lui envoie après leur rencontre du 16.01.1882 (§4.1).

<sup>3</sup>Becquerel est répétiteur auxiliaire à l'École polytechnique depuis 1876 (Lemartin de Raspide, 2000, 192).

<sup>4</sup>Ampère avait appelé solénoïde le système constitué par un empilement de boucles fermées parcourues par le même courant (Darrigol, 2000a, 26) ; Poincaré en fera un modèle mathématique (1890–1891, II, 138).

<sup>5</sup>Henri Poincaré prend comme épouse Louise Poulain d'Andecy, la fille d'un banquier, le 24.04.1881.

## 4.3 Poincaré à Becquerel

[Ca. 05.1891]

Mon cher ami,

J'ai lu le travail du C<sup>t</sup> Denis qui contient des choses intéressantes. Je ne crois pas qu'il puisse être publié sous sa forme actuelle ; il serait facile de le rendre plus court et plus clair.<sup>1</sup> La clarté exige qu'un mémoire de mathématiques puisse être compris sans être lu entièrement et pour cela il faut indiquer dès le début le but qu'on poursuit et la marche générale qu'on compte suivre.

Mais il y a autre chose : M. Arnaud ou en tout cas un M dont le nom commence par un A a publié dans le congrès de l'AFas, en 1889 je crois un mémoire où il y a quelque chose d'analogue.<sup>2</sup> Il faudrait le lire et le citer.

Nous avons pris une grande part au deuil qui vient de te frapper.<sup>3</sup>

Tout à toi,

Poincaré

#### ALS 2p. Collection particulière, Sceaux.

<sup>1</sup>Il s'agit peut-être de M. Denis du Mont-Bernanchon (Pas-de-Calais), qui adressa la préface d'un ouvrage en préparation intitulé *Généalogie des nombres* à l'Académie des sciences le 27.07.1885 (*Comptes rendus* 101, p. 407).

<sup>2</sup>Sur les activités de l'association française pour l'avancement des sciences à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, voir Gispert (2002). L'individu en question est peut-être Gabriel Arnoux (1891), qui présentera sa méthode graphique au congrès de l'AFAS en septembre 1891.

<sup>3</sup>Le père d'Henri Becquerel, Edmond Becquerel est mort le 11.05.1891.

## 4.4 Poincaré à Becquerel

Berlin 15 Juin [1895]

Mon cher ami,  
En arrivant ici, j'apprends la mort de Verneuil.<sup>1</sup>  
Je te rappelle que la veille de l'élection de Guyon tu m'avais à peu près promis ta voix pour Lannelongue pour la vacance suivante.<sup>2</sup>  
Mon amitié ne t'a jamais fait défaut j'espère que je peux compter sur la tienne dans cette circonstance.  
Tout à toi,  
Poincaré

### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Auguste Verneuil (1823–1895), professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Paris, et membre de la section de médecine et chirurgie à l'Académie des sciences depuis 1887, mort le 11.06.1895 (Académie des sciences, 1968, 551). Cette lettre concerne les tractations précédant son remplacement à l'Académie des sciences. Placé en seconde position par le Comité secret, Odilon Lannelongue (1840–1911), professeur de pathologie chirurgicale à la Faculté de médecine de Paris, est élu le 25.11.1895 (ibid, 313).

<sup>2</sup>Sur cette élection, voir (§ 4.5).

## 4.5 Poincaré à Becquerel

[Ca. 05.1892]

Mon cher ami,  
J'ai fait hier une tentative pour te voir dans ton binet à l'école et j'ai appris ainsi que tu n'avais pas de binet et que tu ne viens que dans le second semestre.<sup>1</sup>  
Je voulais te demander si tu n'étais pas engagé pour Guyon et dans le cas contraire te recommander la candidature de Lannelongue qui est plus jeune il est vrai mais dont les titres sont plus étendus et plus variés.<sup>2</sup>  
Nous aurons d'ailleurs l'occasion d'en reparler car je ne crois pas que la vacance soit déclarée de sitôt, la plupart des membres de la section étant absents.  
Je te serre cordialement la main,  
Poincaré

### ALS 2p. Collection particulière, Sceaux.

<sup>1</sup>Il faut lire "cabinet". Comme Becquerel, Poincaré fait cours souvent un semestre sur deux, du mois de mars au mois de juin.

<sup>2</sup>Félix Guyon (1831–1920) est élu à la section de médecine et chirurgie de l'Académie des sciences le 16.05.1892 (Académie des sciences, 1968, 249). Odilon Marc Lannelongue (1840–1911), professeur de pathologie chirurgicale à la faculté de médecine de Paris, sera élu le 25.11.1895 (ibid, 313). Sur l'élection de Lannelongue, voir (§ 4.4).

## 4.6 Becquerel à Poincaré

22 novembre 1897

Mon cher ami,

Voici l'exposé du désaccord dont je t'ai parlé entre Potier et moi.

Tu sais que la Théorie que Fresnel a donné de la polarisation rotatoire consiste en ceci :

Soient 2 rayons circulaires de même période

$$\begin{aligned} \curvearrowright \quad x_1 &= \cos 2\pi \frac{t}{T} & \curvearrowright \quad x_2 &= \cos 2\pi \frac{t}{T} \\ y_1 &= -\sin 2\pi \frac{t}{T} & y_2 &= \sin 2\pi \frac{t}{T} \end{aligned}$$

S'il arrive qu'ils prennent au travers d'un corps d'épaisseur  $e$  une différence de phase  $\frac{e}{V'T}$  pour l'un et  $\frac{e}{V''T}$  pour l'autre, le mouvement résultant  $X = x_1 + x_2$   $Y = y_1 + y_2$  est rectiligne et l'on a

$$\frac{Y}{X} = \operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \frac{\pi e}{T} \left( \frac{1}{V'} - \frac{1}{V''} \right)$$

Or, dans la note que j'ai publiée dernièrement sur la polarisation rotatoire magnétique, je raisonnais ainsi : si un champ magnétique peut être assimilé à un milieu animé d'un mouvement tourbillonnaire de période  $\theta$ , *droit*, par exemple, un rayon circulaire *droit* y aura une période relative plus grande  $T'$  telle que  $\frac{1}{T'} = \frac{1}{T} - \frac{1}{\theta}$ , et un rayon gauche une période  $T''$  telle que  $\frac{1}{T''} = \frac{1}{T} + \frac{1}{\theta}$ .<sup>1</sup> Les réactions élastiques du milieu qui règlent la grandeur de la vitesse de propagation seront les mêmes que celles qui développent dans le milieu des vibrations de périodes  $T'$  et  $T$ , et les indices pourront être calculés par la formule de dispersion. Mais comme en réalité la période reste la même dans l'espace, ce qui est vérifié par expérience, et qui du reste est une condition essentielle pour que le plan de polarisation résultant ait une position indépendante du temps, j'admettais que tout se passait comme si on avait à faire à deux vibrations dont les vitesses de propagation seraient  $V'$  et  $V''$ , et la période *commune*  $T$ , de sorte qu'on aurait

$$\left. \begin{aligned} n' &= n + \Delta\lambda \frac{dn}{d\lambda} \\ n'' &= n - \Delta\lambda \frac{dn}{d\lambda} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \omega &= \frac{\pi e}{T} \left( \frac{1}{V'} - \frac{1}{V''} \right) = \pi e \frac{n' - n''}{\lambda} \\ \frac{\Delta\lambda}{\lambda} &= -\frac{\Delta N}{N} = \frac{1/\theta}{N} = \frac{\lambda}{V_0\theta} \end{aligned} \left. \right\} \frac{\omega}{\pi e} = \frac{2}{V_0\theta} \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

M<sup>r</sup> Potier m'écrit alors que l'on doit avoir

$$\frac{\omega}{\pi e} = \left( \frac{1}{V'T'} - \frac{1}{V''T''} \right) = \frac{2}{V_0\theta} \left( \lambda \frac{dn}{d\lambda} - n \right)$$

Je lui ai répondu aussitôt qu'il ne tenait pas compte dans son calcul du fait que la période restait la même dans l'espace.

Si en effet on rapporte à deux axes rectangulaires deux mouvements circulaires de périodes  $T'$  et  $T''$  on voit de suite qu'on a

$$\frac{Y}{X} = \operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \pi \left[ \left( \frac{1}{T''} - \frac{1}{T'} \right) t + \frac{e}{V'T'} - \frac{e}{V''T''} \right]$$

Ce plan de polarisation tournerait à gauche d'un mouvement uniforme de période  $\theta$ .

Pour que le plan soit fixe dans l'espace, il faut supposer que les axes primitivement choisis soient animés d'un mouvement de rotation à *droite* avec la vitesse angulaire  $2\pi/\theta$ .

Si on rapporte alors les mouvements à des axes fixes, on voit que les angles qui définissent la position du vecteur représentant le mouvement circulaire, sont les mêmes que plus haut, mais tous diminués de  $2\pi t/\theta$  en comptant positivement les angles vers la gauche. J'écrivais alors<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \curvearrowright x_1 &= \cos \left( -2\pi \left( \frac{1}{T'} + \frac{1}{\theta} \right) \left( t - \frac{e}{V'} \right) \right) & \curvearrowleft x_2 &= \cos 2\pi \left( \frac{t}{T''} - \frac{1}{\theta} \right) \left( t - \frac{e}{V''} \right) \\ y_1 &= \sin \left( -2\pi \left( \frac{1}{T'} + \frac{1}{\theta} \right) \left( t - \frac{e}{V'} \right) \right) & y_2 &= \sin 2\pi \left( \frac{t}{T''} - \frac{1}{\theta} \right) \left( t - \frac{e}{V''} \right) \end{aligned}$$

Ce qui ramène la période à être la même et revient à écrire

$$\frac{\omega}{\pi e} = \frac{1}{T} \left( \frac{1}{V'} - \frac{1}{V''} \right)$$

comme je l'avais fait dans ma note.

M<sup>r</sup> Potier m'écrit alors une nouvelle lettre, me disant que cet entraînement d'axes revient à une transformation de coordonnées

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_1 \cos \alpha + y_1 \sin \alpha \\ y'_1 &= y_1 \cos \alpha - x_1 \sin \alpha \end{aligned} \quad \text{avec } \alpha = \frac{2\pi t}{\theta} \quad (\text{tu vas voir que c'est là le point.})$$

Ce qui donnerait

$$\begin{aligned} x'_1 &= \cos 2\pi \left( t \left( \frac{1}{T'} + \frac{1}{\theta} \right) - \frac{e}{V'T'} \right) \\ y'_1 &= -\sin \left( \quad \quad \quad \right) \end{aligned}$$

et non ce que j'ai écrit de sorte que  $T$  serait le même mais qu'on aurait

$$\frac{\omega}{\pi e} = \frac{1}{V'T'} - \frac{1}{V''T''}.$$

Il ajoute : "Vous supposez en réalité que les axes mobiles tournent de

$$\frac{2\pi}{\theta} \left( t - \frac{e}{V'} \right)$$

pour l'un et de

$$\frac{2\pi}{\theta} \left( t - \frac{e}{V''} \right)$$

pour l'autre. Pourquoi une vitesse de rotation fonction de  $e$  et différente pour les 2 rayons ? Je ne vois pas là le mouvement tourbillonnaire d'ensemble."

Mais c'est précisément là qu'est la question. D'abord la vitesse de rotation n'est pas différente, c'est sans doute un lapsus de M<sup>r</sup> Potier ; l'origine du temps est différente, parce que les deux rayons ne séjournent pas le même temps dans le corps ; j'en tiens compte dans mes formules, tandis que si on fait la transformation de coordonnées comme M<sup>r</sup> Potier, il ne faut pas comme lui, faire commencer la rotation des axes à l'origine des courbes, mais au moment où chaque rayon dont le mouvement arrive ensemble à la sortie du corps, entre dans celui-ci, c'est à dire à l'époque  $(t - \frac{e}{V''})$  pour le rayon droit et  $t - \frac{e}{V''}$  pour le rayon gauche.

On doit donc retomber sur ma formule. Il me semble que je ne me trompe pas ; en tous cas je te soumets la question et te remercie bien d'avance de bien vouloir l'examiner.

Ton vieil ami tout dévoué,

Henri Becquerel

**ALS 4p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Becquerel (1897c) cherche une explication commune à la polarisation magnétique et à l'effet de Zeeman, dans un mouvement tourbillonnaire de l'éther. Sa note fut présentée le 08.11.1897. A propos de l'effet de Zeeman, voir (§ 61.1).

<sup>2</sup>Les équations de  $x_2$  et  $y_2$  ne sont pas homogènes.

## 4.7 Poincaré à Becquerel

[09.02.1897]<sup>d</sup>

Mon cher ami,

En sortant du Museum, j'ai voulu réfléchir à ton affaire ; mais je me suis aperçu qu'en gardant l'œil collé à la lunette, j'avais négligé de regarder la série d'opérations que tu faisais pour charger l'appareil.<sup>1</sup> Est-ce qu'après avoir mis les deux boules à la terre pour ramener au zéro, tu mettais la boule supérieure en communication avec le pôle + de la pile et la boule inférieure avec le pôle -.

Il serait alors tout naturel que le potentiel de la boule inférieure tombe à 0 quand on la met à la terre et *double* au contraire quand on met la boule supérieure à la terre.

Ou bien emploies-tu un autre mode de charge ? J'en imagine plusieurs qui conduiraient à des résultats différents.

Pourrais-tu me tirer d'embarras en m'indiquant dans le détail la suite des opérations faites pour la charge.

Tout à toi,

Poincaré

**ALS 2p. Collection particulière, Sceaux.**

<sup>d</sup>Le manuscrit porte l'annotation de main inconnue : "9 fev 97".

<sup>1</sup>Poincaré observa des expériences relatives à la décharge d'un électroscope à deux feuilles d'or par un disque d'uranium, dont Becquerel présente les résultats le 01.03.1897 (Becquerel, 1897b).

## 4.8 Poincaré à Becquerel

[Ca. 09.1897]<sup>e</sup>

Mon cher ami,  
 Toutes mes félicitations pour le succès de ton fils. La glorieuse tradition ne sera pas interrompue.<sup>1</sup>  
 Tout à toi,  
 Poincaré

### ALS 1p. Collection particulière, Sceaux.

<sup>1</sup>Jean Becquerel a réussi le concours d'entrée à l'École polytechnique (après avoir échoué en 1896). En 1909, Poincaré soutiendra la candidature de Jean Becquerel à la succession de son père au Muséum d'histoire naturelle contre celle de Pierre Weiss (voir §62.22). Le fils d'Henri Becquerel représentera alors la quatrième génération de physiciens de la famille Becquerel à occuper cette chaire, après Antoine (1788–1878), Edmond (1820–1891), et Henri Becquerel (1852–1908).

## 4.9 Becquerel à Poincaré

31 octobre 1902

Mon cher ami,  
 Tu dois avoir été mis au courant de la discussion qui a eu lieu dans notre dernier Conseil d'instruction à l'École Polytechnique.<sup>1</sup> Plus j'y réfléchis, plus je vois la légèreté avec laquelle Carvallo subordonne toutes ses idées à la vérification d'une formule, et ce qui me paraît le plus grave c'est la confiance illimitée qu'il a en lui-même.<sup>2</sup> Si tu as jeté un coup d'œil sur son opuscule de la *Scientia*, tu as du voir que ce qu'il dit à la p. 13 de deux courants parallèles est faux. L'expérience décrite page 20 n'est pas réalisable en raison de la rapidité des phénomènes, et des étincelles aux points de rupture, et tu te souviens que Mr Potier nous a fait remarquer que l'auteur n'avait pas pensé à faire de distinction dans les phénomènes d'induction, entre les vitesses relatives des conducteurs et les vitesses absolues.<sup>3</sup>  
 Il serait bien désirable que l'on put lire au Conseil de perfectionnement le *rapport* fait par Mr Potier. Tu pourrais peut-être en demander la lecture.  
 Mardi dernier à 2h en entrant à la séance du Conseil de l'École j'ai trouvé Carvallo à la porte causant avec le Commandant. Je lui ai exprimé mes regrets d'avoir à combattre ses idées. Il m'a répondu assez vivement qu'il se défendrait, qu'il était dans la vérité absolue, qu'il était prêt à faire le cours, et que du reste le cours de Potier (c'est-à-dire le mien) ne tenait pas debout. La raison qu'il en donne est qu'il n'existe pas de potentiel électrostatique parce que l'énergie se dégrade à l'intérieur des corps ! Je lui ai montré

<sup>e</sup>Le manuscrit porte l'annotation de main inconnue : “[Septembre 1897]”.



l'expérience de la p. 20 de son opuscule. Il m'a répondu l'avoir prise dans le Cours de Cornu. En tous cas il l'a fait sans y réfléchir, et comme je lui disais que les inexactitudes que nous avons relevées dans ses feuilles lithographiées, venaient sans doute de ce qu'il les avait rédigées bien vite (je te conseille de lire ce qui est relatif à la loi de Ohm et de Joule, et à la thermoélectricité) il m'a répondu que bien au contraire il avait longuement médité sur tout ce qu'il avait écrit ; et cela me paraît bien plus grave.

Si tu as eu le loisir de feuilleter les feuilles de mon cours et si tu y as vu quelques fautes de raisonnement, ce qui est bien possible, je te serai bien reconnaissant de me les signaler. Cependant je pense que Mr Potier qui lit les feuilles au moment des examens, aurait vu les fautes autres que les coquilles du copiste, et me les aurait signalées.

Si le Conseil de perfectionnement maintenait Carvallo sur la liste, même en 2<sup>e</sup> ligne, il serait nommé, bien vraisemblablement, et je crains que ce ne soit un malheur pour l'enseignement de la Physique à l'École, au moins pour le moment, car s'il veut apprendre tout ce qu'il ne sait pas, comme il est très bon professeur, il peut plus tard faire un très bon cours.

Le Mémoire de Mr Abraham de Göttingen, Prinzipien der Dynamik des Elektrons—se trouve dans le *Physikalische Zeitschrift*—4 Jahrgang N° 16—Seite 57–63, et fait suite à une communication de Mr Kaufmann sur la masse électromagnétique des électrons.<sup>4</sup>

Je reste à Paris Dimanche et je serai bien aise de causer avec toi lundi à l'Institut.

Bien à toi, Ton vieil ami

Henri Becquerel

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Il s'agit de choisir un successeur à Alfred Cornu dans la chaire de physique ; voir la correspondance avec E. Carvallo (§ 14), examinateur de mécanique à l'École polytechnique. Le conseil d'instruction rassemble les enseignants de l'École polytechnique ; il organise l'enseignement, choisit les professeurs et les examinateurs, et impose presque toujours ses décisions au conseil de perfectionnement. Son fonctionnement est décrit par Belhoste (1994).

<sup>2</sup> Emmanuel Carvallo est examinateur de mécanique à l'École polytechnique.

<sup>3</sup> Carvallo (1902a). Alfred Liénard (1902) fait une critique semblable à celle de Potier à propos des vues de Carvallo sur l'électrodynamique des corps en mouvement.

<sup>4</sup> Abraham (1903); Kaufmann (1903). Ancien élève de Max Planck, Max Abraham (1875–1922) est Privatdozent de physique mathématique de 1900 à 1909 à l'université de Göttingen. Walter Kaufmann (1871–1947) est Privatdozent de physique à Göttingen jusqu'en 1903, année de sa nomination à l'université de Bonn (Pyenson, 1973).

## 4.10 Poincaré à Becquerel

[Ca. 12–16.12.1904]

Mon cher ami,

As-tu oublié de m'envoyer ta rédaction comme nous en étions convenus ; il faut avoir arrêté un texte pour lundi.<sup>1</sup>

J'ai reçu une lettre de Blondlot, il a fait dans ces derniers temps 37 photographies dont 1 à contraste très marqué dans le mauvais sens, 3 douteuses, 3 à contraste peu marqué dans le bon sens, et les autres à contraste très marqué dans le bon sens.<sup>2</sup>

Il serait très disposé à instituer des expériences systématiques de photographie, en revanche il ne croit pas que les expériences de contrôle des observations de sulfure puissent donner des résultats dans l'état actuel des choses.

Tout à toi,  
Poincaré

#### ALS 2p. Collection particulière, Sceaux.

<sup>1</sup> Il s'agit vraisemblablement du rapport du prix Le Conte (1904d), présenté le 19.12.1904. Le prix est décerné à Blondlot ; Poincaré lui a écrit au sujet d'une telle récompense un an plus tôt (§9.20).

<sup>2</sup> Voir (§ 9.23), du 30.11.1904.

## 4.11 Poincaré à Becquerel

Paris le 10 mai 1907

Mon cher Confrère,

L'Académie se trouve divisée en deux fractions presque égales ; j'accepterais la perspective d'un échec, mais je puis craindre une autre éventualité à mes yeux mille fois plus fâcheuse. Je ne voudrais pas être élu à une faible majorité, de sorte que l'on pût croire que mes confrères des sciences physiques se sont prononcés en majorité contre moi et que je leur suis imposé par les membres des autres sections.<sup>1</sup>

Cela je ne peux m'y exposer, et c'est cela pourtant qui m'apparaît comme l'issue probable du vote.<sup>2</sup> Dans ces conditions je renonce à toute candidature. Il me reste à remercier mes amis de l'appui qu'ils m'ont donné et qu'ils m'ont conservé jusqu'au bout.

Votre bien dévoué Confrère,  
Poincaré

#### TLS 1p. Collection particulière, Sceaux.

<sup>1</sup> Poincaré se portait candidat au poste de secrétaire perpétuel pour les sciences physiques de l'Académie des sciences contre Albert de Lapparent. Étant lui-même membre d'une section relevant de la division des sciences mathématiques (ainsi que les sections d'astronomie, physique générale, géographie et navigation, et mécanique), Poincaré ne voulait pas être élu sans la majorité de voix dans la division des sciences physiques, dont il aurait eu la charge. Cette division fut composée depuis 1803 des sections suivantes : chimie, minéralogie, botanique, économie rurale et art vétérinaire, anatomie et zoologie, médecine et chirurgie. Le poste est devenu vacant suite au décès de Marcelin Berthelot, membre de la section de physique générale.

<sup>2</sup> Poincaré envoie un exemplaire de cette lettre à plusieurs de ses confrères, dont Gaston Darboux et Alfred Lacroix, en rajoutant parfois ses commentaires. La lettre envoyée à M. Charlier (MSS 1154A, National Museum of American History), rédacteur scientifique au *Temps* révèle les estimations du résultat du scrutin :

	Poincaré	de Lapparent
Sciences mathématiques	19	12
Sciences physiques	16	20
Total	35	32

Dans un postscriptum à l'exemplaire envoyé à Darboux (correspondance, vol. 4), Poincaré explique sa décision ainsi : "Janssen, Chatin, Van Tieghem et Laveran ayant flanché, la partie devenait trop risquée ; deux bronchites suffisaient pour nous perdre." Il s'agit de Jules Janssen (1824–1907), section d'astronomie ; Joannès Chatin (1847–1912), section d'anatomie et zoologie ; Philippe Van Tieghem (1839–1914), section de botanique ; Alphonse Laveran (1845–1922). Van Tieghem sera élu secrétaire perpétuel pour les sciences physique le 26.10.1908, en remplacement de H. Becquerel, le successeur d'Albert de Lapparent.

## 4.12 Poincaré à Becquerel

[Ca. 1881–1908]

Mon cher ami,

J'ai bien tardé à te répondre ; je cherche une excuse, mais comme je n'en trouve pas de bonne, j'aime mieux n'en pas donner du tout. J'accepte avec plaisir ton aimable invitation. Crois, je te prie, à ma sincère amitié, et sois assez bon pour transmettre à Madame Becquerel les compliments de ma femme et mes respectueux hommages.

Poincaré

**ALS 1p. Collection particulière, Sceaux.**

## Chapitre 5

# Kristian Birkeland

Kristian Birkeland (1867–1917), après des études à l’université de Kristiania (Oslo), reçoit une bourse d’études et part à Paris en 1892 afin de suivre l’enseignement de Poincaré, Paul Appell, et Émile Picard à la Sorbonne. Dans une lettre à son ancien professeur Vilhelm Bjerknes, il raconte que pendant son séjour Poincaré l’a reçu chez lui (Egeland et Burke, 2005, 23). Le cours de Poincaré suivi par Birkeland a pour sujet les oscillations hertziennes, et c’est sur ce même sujet que Birkeland fait ses premières recherches.<sup>1</sup> Ensuite il part à Genève afin de travailler sept mois avec Édouard Sarasin et Lucien de la Rive sur les ondes hertziennes.<sup>2</sup> Il fait également des études avec Philipp Lénard à Bonn, et Sophus Lie à Leipzig. En 1898, il est nommé professeur de physique à l’université de Kristiania par le roi Oscar II de Suède, devançant ainsi Bjerknes. Ses travaux dans le domaine de l’électromagnétisme le font considérer comme un des précurseurs de la radio. A partir de 1897, il orienta ses recherches dans les domaines du magnétisme terrestre et de l’influence du Soleil sur le phénomène des aurores boréales, et des orages magnétiques en général.<sup>3</sup>

### Notes

<sup>1</sup>Birkeland (1893a,c,d,b).

<sup>2</sup>La collaboration est fructueuse ; voir (Birkeland et Sarasin, 1894).

<sup>3</sup>Sur la vie et les travaux de Birkeland, voir Egeland et Burke (2005), et Lucy Jago (2001).

## 5.1 Birkeland à Poincaré

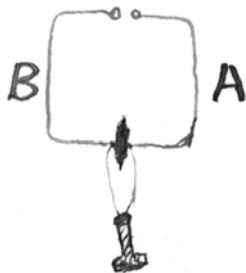
Paris 11 Janv 1893

Monsieur,

Je vous exprime tous mes remerciements pour votre bonté de présenter ma note à l'Académie.<sup>1</sup>

Vous avez annoncé au cours l'autre jour, que vous allez traiter sur les expériences de MM. Hagenbach et Zehnder.<sup>2</sup>

Quand mes expériences différentes sur le circuit secondaire avec téléphone ont fait voir des phénomènes tout à fait analogues à ceux, révélés par les expériences de H et Z, il pourra peut-être vous intéresser un peu, de voir les conclusions que je crois, que l'on peut déduire d'une manière naturelle de mes expériences.



(Pour le résonateur avec téléphone, voir mon mémoire pag. 584 et 611.)<sup>3</sup>

Les recherches montrent, que toutes les oscillations électriques se passent dans ce nouveau résonateur, comme si ni le condensateur, ni le téléphone ne produit sur les phénomènes aucun effet essentiel.

Si maintenant la distance explosive entre les boules du micromètre est trop grande, pour que l'étincelle puisse éclater, la quantité totale d'électricité (pos et nég) à chacune des deux moitiés *A* et *B* du résonateur est toujours égale à zéro. Or, si l'étincelle peut éclater, il y entre des complications.

Après diverses oscillations le mouvement est tellement affaibli, que la production d'étincelles cesse; mais alors il y a ordinairement un excès d'électricité positive à l'une des moitiés *A* et *B* et un excès d'électricité négative à l'autre. Ces deux quantités d'électricités contraires vont se réunir à travers le téléphone, après que tous les oscillations sont bien amorties, et c'est *cette dernière reste*, que produit le bruit dans la plaque téléphonique.

Cette hypothèse me semble bien affirmée par les résultats de H et Z; seulement il faut en donner une autre explication que celle de ces physiciens.<sup>4</sup>

Toutes les expériences de H et Z peuvent être naturellement expliquées conformément à la théorie quand *on admet que*:

1° La production d'étincelles dans le conducteur secondaire cesse *le plus souvent* après *le*  $p^{\text{me}}$  demi-oscillation, où  $p$  probablement est un nombre très petit pour le résonateur de H et Z.

2°  $p$  dépend de la longueur d'étincelle, en sorte que si on va la diminuer comme dans les expériences en question, on pourra obtenir que la production d'étincelles cesse *le plus souvent* après la  $(p + 1)^{\text{me}}$  demi-oscillation.

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de mes sentiments les plus respectueux.

Kr. Birkeland

ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Birkeland (1893a), où il s'agit d'une méthode d'analyse des ondes stationnaires dans les fils par la mesure des étincelles produites dans un dispositif analogue à celui de Hertz. Il conclut que l'intensité maximum d'une suite d'ondes dans un fil diminue assez vite. Il compare ses travaux à ceux d'Alfred Perot (1892c), qui utilise une autre démarche et qui conclut en accord avec Poincaré, Bjerknæs et Blondlot sur le phénomène de la résonance multiple. Voir la correspondance avec Hertz (§ 30). A propos des expériences de Birkeland, voir Poincaré (1894a, 176–177).

<sup>2</sup>Poincaré faisait cours sur les oscillations hertziennes, et la théorie du résonateur de Hagenbach-Bischoff et Zehnder (1894a, 212–219). Eduard Hagenbach-Bischoff (1833–1910) est professeur de physique à l'Université de Bâle. Ancien étudiant de Röntgen, Ludwig Zehnder (1854–1949) est professeur de physique à l'université de Fribourg.

<sup>3</sup>Birkeland (1892), où il s'agit d'une méthode de détection des étincelles par le téléphone. Il utilise un résonateur rectangulaire à étincelles, interrompu par un condensateur sur lequel vient se brancher le téléphone (voir la figure). Comme le remarque Jean Cazenobe (1986, 41–42), Birkeland a amélioré son dispositif en 1894 en regroupant hors du circuit résonant l'éclateur et le téléphone dans un pont de Wheatstone, ceci sans modifier la période de vibration propre du résonateur.

<sup>4</sup>Hagenbach-Bischoff et Zehnder (1891), où les auteurs décrivent leur conception du phénomène à l'oscillateur et au résonateur. Ils remettent en cause l'interprétation de Hertz en essayant de ramener l'explication au phénomène de l'induction, en contestant notamment le caractère périodique des étincelles à l'oscillateur. Birkeland observe ici au résonateur des phénomènes semblables à ceux que les savants bâlois décrivent, essentiellement une grande déviation de l'électromètre à la fin de l'apparition des étincelles au résonateur. Poincaré analyse et rejette les arguments de Hagenbach et Zehnder (1894a, 212–219).

## 5.2 Birkeland à Poincaré

Christiania 9/3 98

Cher Maître,

Je viens de rentrer à Christiania après qu'il m'est arrivé un terrible malheur sur les montagnes de Finmarken.<sup>1</sup>

Nous y sommes été attaqué à l'improviste d'une tempête formidable à neige, dans laquelle nous avons perdu la route et ont été forcé de coucher en dehors pendant 31 heures dans -35°C et pas plus de 2 km environ de la chaumière dans laquelle nous avons pensé de faire nos observations.<sup>2</sup> Un de mes camarades, un jeune étudiant, a été gravement offensé par le froid. Il a eu maintenant de la gangrène dans 8 doigts, et demain on va commencer par en amputer les quatres.<sup>3</sup>

Mon père me dit, qu'il est arrivé pendant mon absence une lettre à bord noir de Paris, je suspecte que cette lettre m'est envoyé par vous. On a envoyé la lettre à Bossekop, mais elle doit être disparu, car il m'est impossible de l'avoir.<sup>4</sup> Si donc vous avez demandé quelque chose, il n'est pas ma faute que vous n'avez pas eu de réponse.

Maintenant je vous prie de me vouloir bien donner un conseil dans une question très importante pour moi.

Notre Storting (Chambre des députés) a pensé pendant 2 à 3 ans de voter une nouvelle chaire de physique à notre université, mais la question est toujours remise à cause des différentes difficultés.

Cette année le comité de budget avait proposé la chaire à toutes voix, quand il arrive une lettre de M. A. C. Bjerknæs, où il demande une chaire personnelle pour son fils M. V. Bjerknæs, professeur à Stockholm pour m'exclure tout simplement de la concurrence.<sup>5</sup>

Heureusement pour moi on ne ferait pas une telle népotisme. Le Storting votera après cette lettre plutôt une chaire personnelle pour moi que pour M. Bjerknæs. Mais dans le comité on demande, s'il serait le mieux de remettre encore la question. J'ai été demandé indirectement, et j'ai répondu que non. Il est bien possible que je me trompe, mais je me juge maintenant aussi compétent que M. V. Bjerknæs. Si M. Bjerknæs va se mettre à la concurrence, il risque, s'il perd, d'être chicané à Stockholm. Moi, si je perds, je risque toute ma carrière, il n'y aura pas de position à prévoir pour moi après ça dans ma patrie.<sup>6</sup> C'est donc bien parties égales.

Maintenant je parle comme égoïste. Pensez vous que M. Bjerknæs va me battre dans la concurrence ? Si vous le pensez, je tacherai de faire obtenir remis la décision du Storting, pour me perfectionner encore.

Recevez, cher Maître, l'assurance de mes sentiments les plus distingués,

Kr. Birkeland

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Le Finnmark, région située à l'extrême nord de la Norvège.

<sup>2</sup>Birkeland a organisé plusieurs expéditions norvégiennes pour l'étude des aurores boréales (1897–1903) (Egeland et Burke, 2005).

<sup>3</sup>Le jeune étudiant, Bjørn Helland-Hansen (1877–1957) a renoncé à une carrière de chirurgien pour devenir océanographe ; voir Egeland et Burke (Egeland et Burke, 2005, 47). Birkeland décrit cette expédition dans (1899).

<sup>4</sup>Bossekop est un petit port près de Alta dans le Finnmark.

<sup>5</sup>Carl Anton Bjerknæs (1825–1903), professeur de mathématiques appliquées à l'Université de Kristiania.

<sup>6</sup>Birkeland fut nommé à la chaire de physique à Kristiania en 1898 ; Bjerknæs n'y reviendra qu'en 1907.

## 5.3 Birkeland à Poincaré

Christiania 27/10 98

UNIVERSITETETS FYSISKE INSTITUT<sup>1</sup>

Cher Monsieur,

Je me suis permis de vous envoyer un mémoire sur le phénomène de succion des rayons cathodiques par un pôle magnétique.<sup>2</sup>

Je suppose qu'il vous intéressera de voir, jusqu'à quel point vos prévisions si suggestives dans la note des *Compt. rend* 123 pag. 930 se sont vérifiées.<sup>3</sup>

J'espère pouvoir achever bientôt la seconde partie du présent mémoire—concernant les mesures proprement dites—et nous verrons si ces recherches, grâce à votre analyse, ne nous fourniront pas une vérification très complète des admirables vues de Crookes.<sup>4</sup>

Par la petite carte incluse dans le mémoire, vous avez probablement vu que je suis nommé maintenant professeur de notre université dans la nouvelle chaire de physique.<sup>5</sup> Je me fais un plaisir de vous l'annoncer, sachant que vous suivez vos anciens élèves avec le plus grand intérêt.

Par la même occasion je viens vous prier de reporter un peu de votre bienveillance pour moi, et de l'assistance que vous m'avez toujours prêtée pendant mes études à Paris, sur

un autre jeune Norvégien M. Carl Störmer qui va compléter à Paris ses études mathématiques, et qui suivra vos cours.<sup>6</sup>

Il m'a prié de vous le recommander, ce que je fais d'autant plus volontiers que je suis persuadé qu'il est de ceux qui fourniront un jour des travaux dont vous aurez lieu d'être content.

Recevez, Monsieur, je vous prie mes salutations les plus empressées.

Votre dévoué,

Kr. Birkeland

### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Birkeland vient d'être nommé professeur de physique à l'université de Kristiania ; voir (§ birkeland2).

<sup>2</sup>Birkeland (1898a,b). Il s'agit de ce qu'on appellera rayons magnéto-cathodiques ou rayons Broca ; à ce propos voir Carazza et Kragh (1990).

<sup>3</sup>Poincaré (1896j), où Poincaré trouve les équations du mouvement d'une charge électrique dans le champ d'un pôle magnétique, expliquant ainsi le phénomène décrit par Birkeland 1896. Poincaré observe que si un faisceau parallèle de rayons cathodiques devient convergent et la distance de l'aimant est convenable, il est alors concentré en un foyer "au point de faire fondre le verre en très peu de temps." Plus loin il émet l'hypothèse, conforme à celle de Crookes "d'une particule matérielle en mouvement très rapide, chargée d'électricité."

<sup>4</sup>William Crookes (1832–1919), physicien et chimiste anglais, *fellow* de la société royale de Londres. Ses expériences, qu'il menent depuis 1856 dans son laboratoire privé à Londres, portent sur les décharges électriques dans les gaz raréfiés et l'ont conduit vers 1879 à la théorie de la "matière radiante", selon laquelle il existe un "quatrième état" de la matière (DeKosky, 1976).

<sup>5</sup>Voir (§ 5.2).

<sup>6</sup>Carl Störmer (1874–1957) sera nommé professeur de mathématiques à l'université de Kristiania en 1903. Il collaborera avec Birkeland dans ses investigations des aurores boréales ; voir Egeland et Burke (2005, 98–100).

## 5.4 Birkeland à Poincaré

Kristiana 21/12 98

Cher Monsieur,

Je regrette de ne pas pouvoir vous envoyer tout de suite l'extrait que vous desirez du mémoire, dont vous parliez dans votre lettre.<sup>1</sup> En effet, je suis couché depuis 6 jours, souffrant par la jaunisse. C'est la seconde fois que cette maladie me frappe, je l'avais pour la première fois à Paris 1892.<sup>2</sup>

Il est probable que j'ai trop travaillé dernièrement, mais j'espère en revanche que vous trouverez que les résultats valent les efforts. Mon mémoire—100 pages—écrit en français, paraîtra avant la fin du mois de janvier 1899.

Recevez, cher Monsieur, mes meilleurs souhaits pour une bonne année.

Votre tout dévoué,

Kr. Birkeland

### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>La lettre de Poincaré nous manque. Le mémoire en question est (Birkeland, 1899).

<sup>2</sup>Sur le séjour d'études de Birkeland à Paris, voir Egeland et Burke (2005, 23).



## Chapitre 6

# Vilhelm Bjerknes

Vilhelm Bjerknes (1862–1951), physicien norvégien, est le fils d’un professeur de mathématiques appliquées à l’université de Kristiania (aujourd’hui Oslo), Carl Anton Bjerknes (1825–1903). Après des études à Kristiania, Bjerknes reçoit une bourse d’études qui lui permet de poursuivre ses études, d’abord à Paris en 1889, où il entend les cours de Poincaré sur l’électricité, et prend connaissance des travaux de Hertz.<sup>1</sup> Désirant apprendre à réaliser les expériences de Hertz avec des moyens simples, il s’adresse directement à Hertz qui essaie de le dissuader de venir auprès de lui en arguant que l’Institut de Physique a peu de moyens. Bjerknes est pourtant devenu son assistant et principal collaborateur scientifique à l’université de Bonn pendant les années 1890–1891. Pendant ce temps, il effectue des recherches sur l’amortissement des ondes électromagnétiques. Son travail sur la résonance dans les circuits oscillants, admiré par Poincaré, contribue à la compréhension des expériences de Hertz.<sup>2</sup> Bjerknes participe à la discussion du problème de la résonance multiple soulevé par Sarasin et de la Rive, monté en épingle par Cornu en 1890. Il soutient sa thèse à Kristiania en 1892, et enseigne à la Högskola de Stockholm.

Nommé professeur de mécanique appliquée et de physique mathématique à l’université de Stockholm en 1895 avec l’appui de Poincaré et Paul Appell (voir § 62.3), il fait des recherches en hydrodynamique (dans la succession des travaux de son père), et généralise les propositions de William Thomson et de Hermann von Helmholtz aux mouvements de l’atmosphère et de l’océan.<sup>3</sup> Il revient à Kristiania en 1907 où il développe la météorologie dynamique. En 1912, il devient professeur de géophysique à Leipzig et président de l’Institut de géophysique. Il rentre en Norvège à Bergen en 1917 à la demande de Fridtjof Nansen pour créer l’Institut de géophysique. En 1926, il retourne à l’université d’Oslo.<sup>4</sup>

### Notes

<sup>1</sup> Selon Robert Friedman 1989, 13n7, les notes prises par Bjerknes lors du cours de Poincaré sont conservées à la bibliothèque de l’université d’Oslo.

<sup>2</sup> Bjerknes (1891d), Poincaré (1999, § 114).

<sup>3</sup> Bjerknes envoie à Poincaré une exemplaire du premier volume de son ouvrage sur les forces hydrodynamiques (1900–1902), que celui-ci présente à l’Académie des sciences (1900c).

<sup>4</sup> Sur la vie et les travaux météorologiques de Bjerknes, voir le *DSB*, Friedman (1989), et Kutzbach (1979).

## 6.1 Poincaré à Bjerknes

[Ca. 10.1892]

Cher Monsieur,

Seriez-vous assez bon pour m'envoyer un tirage à part de votre dernier travail des *Annales de Wiedemann* où vous établissez à ce que je crois que la résistance d'un résonateur a une influence sur son amortissement.<sup>1</sup>

Merci d'avance ; votre dévoué,

Poincaré

**ALS 1p. Brevs. 469B, Håndskriftsamlingen, National Library of Oslo.**

<sup>1</sup>Bjerknes (1891c), dont un extrait en français est présenté par Poincaré le 22.06.1891 à l'Académie des sciences (1891a).

## 6.2 Bjerknes à Poincaré

Kristiania 3 novembre 1892  
Cabinet de Physique de l'Université

Monsieur et très honoré maître,

J'espère que vous possédez déjà le mémoire que vous m'avez fait l'honneur de demander.<sup>1</sup> J'en avais envoyé un tirage à part une semaine avant de recevoir votre lettre.<sup>2</sup> Si néanmoins vous le n'avez pas encore reçu je vous prie de m'en avertir pour que je puisse vous envoyer un autre exemplaire.

La question de l'influence qu'ont la résistance et le magnétisme sur l'amortissement d'un résonateur, n'est pas d'ailleurs épuisée dans ce petit travail. Si vous trouvez d'intérêt à ces recherches je me permets de vous communiquer un autre résultat qui me paraît important dans une discussion de la nature intime du phénomène :

“L'influence qu'ont le magnétisme et la résistance sur l'amortissement est moins marquée plus le diamètre du fil conducteur est grand.”<sup>3</sup>

J'en conclue qu'on peut par un changement de la configuration géométrique du résonateur modifier le rapport

$$\frac{\text{quantité d'énergie qui se dissipe par radiation}}{\text{quantité d'énergie qui se dissipe en chaleur}}$$

Faute de temps je n'ai pas encore examiné cette question systématiquement. Mais j'espère de pouvoir donner au résonateur une forme où sensiblement toute l'énergie se dissipe par radiation.

Agréez, Monsieur, je vous prie, l'assurance du profond respect de votre dévoué élève.

V. Bjerknes

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Bjerknes (1891c).

<sup>2</sup>Voir (§ 6.1).

<sup>3</sup>Les expériences décrites dans (Bjerknes, 1891c) étaient conduites sur des résonateurs identiques : 123 cm de longueur de fil et 1/2 millimètre de diamètre. La résistance, ainsi que l'amortissement diminuent quand le diamètre du fil augmente. Poincaré ne reprend pas cette idée dans son cours (1894a), mais par le calcul des énergies dissipées, il montre (p. 264) que d'autres résultats de Bjerknes sont en accord avec la théorie de Maxwell.

# Chapitre 7

## Richard Bloch

Richard Bloch (1852–1934) entre à l'École polytechnique en 1872, et devient ingénieur des ponts et chaussées. Il travaille du 1.07.1880 au 01.07.1881 sur l'implantation du tracé sur les 30 premiers km du chemin de fer de Bourges à Avallon.<sup>1</sup> Il quitte le service de l'État en 1884 pour celui de la compagnie d'Orléans, où il est Chef d'exploitation de 1914 à 1921, puis adjoint au directeur de 1921 à sa retraite en 1926.

Notes

<sup>1</sup>Dossier personnel, F<sup>14</sup>11521, Archives nationales, Paris ; Liesse (1934).

### 7.1 Bloch à Poincaré

Bourges, le 8 Novembre 1881

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS – PONTS ET CHAUSSÉES  
CHEMIN DE FER DE BOURGES À AVALON – ÉTUDES ET TRAVAUX

L'INGÉNIEUR ORDINAIRE DU 1<sup>ER</sup> ARRONDISSEMENT

à Monsieur Poincaré Ingénieur des Mines

Professeur à la Faculté de Caen

Mon cher Poincaré,

Je viens en recours auprès de toi et faire appel à ton obligeance et tes lumières pour me tirer si possible d'un embarras mathématique dans lequel je me trouve.

En étudiant en effet une loi des mouvements d'un train sur chemins de fer, j'arrive pour un cas à l'équation différentielle suivante

$$A \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 + B y \frac{dy}{dx} + C y^2 + D y + E x + F = 0$$

dans laquelle  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  et  $F$  sont des constantes. Un cas plus simple me conduit à :

$$A' \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 + B' y \frac{dy}{dx} + D' y + E' x + F' = 0$$

dans laquelle les coefficients des variables et le terme indépendant sont encore des constantes. J'ai fait appel à tous mes vieux souvenirs et j'ai sorti de mon arsenal mes anciennes armes malheureusement bien rouillées, les facteurs d'intégrabilité et autres méthodes. Mais je me suis escrimé en vain et de guerre lasse je prends le parti de venir t'importuner et te demander si tu ne connaissais pas, ou ne pourrais trouver les intégrales de ces différentielles.

Tu obligerais beaucoup ainsi ton bien dévoué camarade,  
Richard Bloch

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

## Chapitre 8

# André Blondel

André Blondel (1863–1938) est polytechnicien (1883), et ingénieur des ponts et chaussées (1888). Licencié ès sciences physiques et mathématiques, Blondel suit les cours de physique de Poincaré en 1888–1889, avant de commencer sa carrière d’ingénieur au service central des phares et balises. Les inventions de Blondel en électrotechnique et en photométrie font sa renommée ; c’est à lui, par exemple, qu’on doit l’oscillographe (1893) et les globes holophanes (1895). Le vocabulaire photométrique lui doit les termes “lumen” et “lux”. Il enseigne l’électricité appliquée à l’École des ponts et chaussées à Paris, où il devient titulaire en 1904. Alité de 1900 à 1919 par une paralysie partielle des jambes, Blondel se fait suppléer, mais il continue à mener des expériences dans son propre laboratoire, avec l’aide d’un assistant. Il contribue à la mise au point des unités photométriques, et travaille sur les moteurs électriques, le transport de l’énergie électrique à grande distance, et la conception des usines hydroélectriques. En 1913, il entre à l’Académie des sciences en tant qu’académicien libre.

La correspondance entre Blondel et Poincaré concerne l’élaboration d’une théorie de la transmission des ondes électromagnétiques, dans laquelle le système antenne-terre s’assimile à un oscillateur de Hertz vertical. Poincaré offre à Blondel ses conseils, et se penche sur la question annexe de la diffraction des ondes hertziennes par la surface de la planète. <sup>1</sup>

### Notes

<sup>1</sup>Sur la vie et les travaux de Blondel, voir le *DSB*, la notice nécrologique de Louis de Broglie (¶951, 89–121), Blondel (1898; 1903; 1911), et les articles de Bethenod (1938) et de Magnien (1989). Sur la théorie de la diffraction de Poincaré, voir les notes de la correspondance avec Birkeland (§5) et Sommerfeld (§ 54).

## 8.1 Blondel à Poincaré

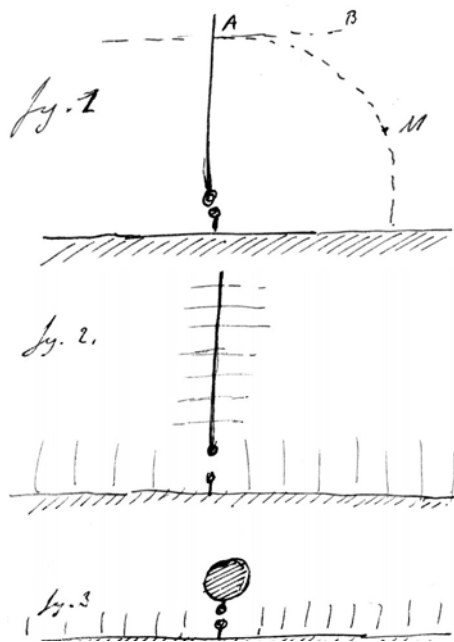
le 25 Aout 1898<sup>a</sup>

Brioude (H<sup>te</sup> Loire) Etablissement hydrothérapique<sup>1</sup>

Monsieur et cher Camarade,

Je ne saurais trop vous remercier de votre bienveillante lettre et de vos précieux conseils, qui m'ont beaucoup donné à réfléchir ; permettez-moi de vous soumettre quelques objections.<sup>2</sup>

1. Oui, il est très séduisant d'interpréter le phénomène par une propagation d'ondes à 2 dimensions et cela me satisferait bien mieux que l'hypothèse de l'antenne réceptrice-condensateur, si cela ne renversait un postulat que je me suis forgé, en admettant que les lignes de force électriques des ondes hertziennes, ne peuvent, comme celles du champ électrostatique, aboutir qu'à *des conducteurs*. Cela me choque de penser qu'une ligne de force puisse partir d'un fil comme l'antenne et finir en queue de poisson dans le diélectrique  $AM$  ; et je suis toujours porté à croire qu'elle ira aboutir normalement au deuxième conducteur qui est la terre (fig. 1).



D'où l'idée d'une propagation sphérique (du moins au début jusqu'à ce que l'onde aboutisse en  $A$  où il y a localement une réflexion) qui ne modifie pas sensiblement la forme du reste de l'onde.

2. Ce qui tend à confirmer cette impression, c'est que si je prends un oscillateur seul (sans mise à la terre), pris avec une antenne, l'effet constaté sur un cohéreur placé en  $M$  ne change pas sensiblement ; la propagation le long du fil ne supprime donc pas la propagation dans le diélectrique comme il faudrait l'admettre dans l'hypothèse d'une propagation spécialisée le long de l'antenne et de la terre (fig. 2).

3. Comment expliquer l'avantage des *hautes* antennes d'émission si elles n'agissent peu—ou si elles n'agissent que sur la durée de la période par leur capacité ? Il suffirait de remplacer l'antenne par une sphère ayant même capacité par rapport à la terre pour obtenir même période et même propagation à la surface du sol. (fig. 3)

C'est une expérience importante que je compte faire et j'aurai l'honneur de vous en faire connaître le résultat. Il est mathématiquement plus difficile d'étudier la propagation dans

<sup>a</sup>Le manuscrit porte une en-tête barrée : "Paris, 2, Boulevard Raspail."

la direction de l'antenne verticale ; j'ai cherché autrefois à le faire sans succès ; il faudrait des échafaudages considérables.

4. L'énergie disponible à l'antenne réceptrice—supposée jouant le rôle d'armature—est très faible, c'est vrai, mais il en faut *si peu* pour les cohéreurs modernes qu'il est difficile d'affirmer qu'elle est insuffisante à priori ; si l'onde était sensiblement sphérique, elle en mettrait en jeu encore moins, c'est tout ce que j'ai voulu dire.

Veillez m'excuser de vous soumettre ces objections pour ce qu'elles valent ; ce sont elles qui m'ont détourné de l'idée de la propagation le long du sol, bien qu'à d'autres égards celle-ci m'ait paru d'abord faire le fond du phénomène. (En effet si l'on prend comme base une conduite d'eau ou de gaz, le phénomène est beaucoup renforcé). Peut-être ai je eu tort de me laisser influencer par elles et je vous serai bien reconnaissant si vous avez la bonté de m'éclaircir ces détails.

Vous me demandez si je désire publier ces écrits dans l'“*Éclairage Électrique*”. Je ne demande pas mieux quand je serai plus *sûr* d'être sur un terrain solide, mais il me faut encore quelques semaines de réflexion et quelques résultats d'expériences comme pieux pour consolider ce terrain définitivement.<sup>3</sup> Rien ne presse du reste pendant la période des vacances et en tout cas, je ne voudrai rien donner à ce journal sans vous le soumettre en ce qui concerne ces questions où vous êtes notre maître à nous autres électriciens. J'ai donné seulement une courte note à l'*Association française* (au commencement de ce mois) qui résumait les idées que je vous ai soumises ; elle a été publiée par l'“*Éclairage*” dans son dernier N°, avec une note de mon ami Broca sur le même sujet.<sup>4</sup> Ce dernier, à qui j'avais dit déjà qu'il me paraissait être à *côté* de la question, ne s'occupe pas de la mise à la terre et paraît croire que le flux d'énergie monte le long de l'antenne pour s'épandre autour de l'extrémité suivant une nappe horizontale, au lieu qu'en réalité il doit revenir en arrière avec les ondes réfléchies. Quant à la polarisation des ondes elle est de toute évidence.

J'ai oublié de vous dire que notre impression commune au sujet la période de l'antenne d'émission (que je n'ai pas encore mesurée mais que je mesurerai au miroir tournant) paraît bien confirmée par l'expérience, car la mise à la terre change le caractère de l'étincelle de l'oscillateur, la raccourcit et la rend plus nourrie, effet évident de la capacité de l'antenne par rapport à la terre.

Veillez agréer, Monsieur et cher camarade, avec l'expression de ma sincère gratitude, toutes mes excuses de ma longue lettre et de ma vilaine écriture, et l'hommage de mon respectueux dévouement.

A. Blondel

#### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Suite à un accident d'équitation, Blondel souffrait d'une paralysie partielle des jambes (L. de Broglie, 1951).

<sup>2</sup>La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée. Blondel (1898, 215) venait de faire une communication au congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences le 11.08.1898 à Nantes sur la théorie des antennes dans la télégraphie sans fil, dans laquelle il prêtait à Poincaré l'idée de modéliser l'action d'une antenne d'émission d'ondes hertziennes par deux antennes placés symétriquement par rapport à un disque, avec des fréquences synchrones et opposées.

<sup>3</sup>Un résumé seulement de la communication de Blondel au congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences est publié dans *L'Éclairage électrique* le 20.08.1898, p. 316.



<sup>4</sup>Ibid, N° 34, p. 318. André Broca (1863–1925), ancien élève de l'École polytechnique (1883), agrégé de physique, fut préparateur à la Faculté de médecine de Paris. Il passa une thèse de médecine en 1898, avant d'être nommé répétiteur à l'École polytechnique (Guillaume 1925).

## 8.2 Blondel à Poincaré

31 Aout 1898  
Brioude (H<sup>te</sup> Loire)

Monsieur et cher camarade,

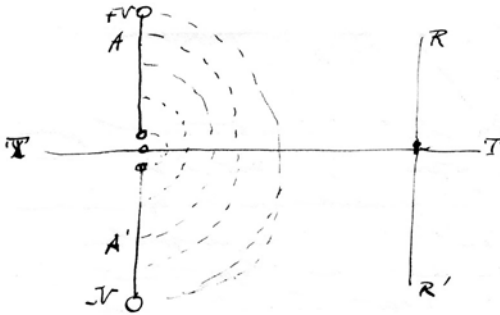
J'ai l'honneur de vous accuser réception de vos deux récentes lettres que j'ai lues avec autant de profit que d'intérêt et je vous en remercie bien vivement.<sup>1</sup>

Vous avez parfaitement raison en ce qui concerne la décroissance rapide ( $1/r^3$ ) de la charge de l'antenne réceptrice avec la distance. Je vois comme vous que ce calcul force à rejeter désormais l'explication statique.

D'autre part votre représentation des images dans la théorie statique me conduit à penser que la même considération d'image si on l'étend aux phénomènes hertziens peut donner une explication simple de toute l'affaire, y compris l'influence de la hauteur de l'antenne.

La terre peut être en effet remplacée par un conducteur plan  $TT'$  très mince et si l'on suppose l'antenne symétrique  $AA'$  au potentiel  $-V$ , ce qui ne change rien aux phénomènes observés au-dessus du sol, les courants superficiels dans le conducteur  $TT'$  étant dirigés en sens inverse, leur effet total sur l'antenne réceptrice est nul. Tout se passe donc sensiblement comme si le conducteur  $TT'$  n'existait pas.

Mais alors on se trouve en face d'un cas très simple, celui d'un résonateur rectiligne  $RR'$  placé parallèlement à un excitateur rectiligne  $AA'$ .



Si l'on admet approximativement, comme vous l'avez fait par exemple au début de votre bel ouvrage sur les oscillations, que dans l'excitateur  $AA'$  (auquel la capacité ajoutée au bout de l'antenne donne une complète ressemblance avec celui de Hertz) le courant est sensiblement le même sur toute la longueur.<sup>2</sup> Le courant induit dans le résonateur dépend simplement de l'induction mutuelle des deux conducteurs rectilignes, calculée d'après la formule de Neumann, et l'influence de la hauteur se trouve bien mise en évidence.<sup>3</sup> Elle le serait aussi si l'on faisait le calcul plus rigoureux d'après les méthodes que vous indiquez en calculant la composante  $\xi$  du potentiel vecteur le long de  $RR'$ . Je tâcherai de faire ce calcul, mais il doit être un peu compliqué et le résultat de la formule Neumann est peut être pratiquement suffisant étant donné la difficulté des solutions rigoureuses.

Je ne vois donc plus de difficultés pour concilier l'explication par ondes hertziennes avec l'influence de la hauteur des antennes.

Je n'en vois pas non plus pour expliquer le rôle capital de la mise à la terre, que j'ai du reste vérifié expérimentalement; car cette opération équivaut à doubler la longueur de l'antenne d'émission<sup>b</sup> et la différence de potentiel mise en jeu dans la décharge de l'oscillateur.

Naturellement la suppression de la terre par la considération de l'image n'est qu'une approximation faite en supposant sa conductibilité excellente; elle n'est pas exacte et la résistance de la terre intervient pour réduire l'énergie disponible; l'avantage d'opérer près de la mer ou d'un lac provient de la meilleure conductibilité de l'eau.

Je ne sais si je suis dans la bonne voie cette fois, et je serai très heureux, Monsieur et cher camarade si vous voulez bien encore me donner votre avis. Je vous prie de vouloir bien agréer en attendant mes plus sincères remerciements pour ceux si excellents que vous avez bien voulu me donner déjà et l'expression de mon respectueux dévouement.

A. Blondel

P.S. L'expérience sur la différence des effets dans le plan de l'antenne et le plan perpendiculaire (veuillez m'excuser de n'avoir pas compris dès le début votre pensée) n'a pas encore été faite; on opère ordinairement avec des capacités cylindriques. Mais je crois que ces capacités n'agissent que par leurs valeurs totales et non par leur forme. Même dans l'hypothèse statique, la dimension des plaques est trop petite par rapport à la distance des antennes pour rendre, je crois, sensible l'influence de l'orientation de la plaque.

En appelant  $H$  et  $H'$  la hauteur des antennes, la formule de Neumann indique que l'effet produit à grande distance est sensiblement proportionnel à  $HH'/r$ , c'est-à-dire que la portée varie sensiblement suivant le produit  $HH'$ ; il est intéressant de remarquer que c'est ce qu'ont trouvé sensiblement par empirisme les expérimentateurs. Mais la valeur du courant de l'antenne d'excitation varie elle-même avec la capacité de cette antenne et par suite sa longueur, ce qui doit compliquer la relation.

#### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Les deux lettres nous manquent.

<sup>2</sup>Poincaré (1894a, 46–51).

<sup>3</sup>La loi de Neumann en notation moderne est  $E d\ell = -\varepsilon v d\mathbf{f}$ , où  $E$  est la force électromotrice induite dans un élément  $d\ell$  d'un conducteur linéaire qui se déplace avec une vitesse  $v$  près des courants constants ou des aimants au repos, et  $\varepsilon$  est un coefficient (regardé comme invariable par Neumann pour l'induction dans des fils conducteurs). Franz Neumann a également introduit un potentiel  $P$  qui donne lieu aux forces qui agissent sur le conducteur en mouvement; pour deux circuits linéaires avec courants  $i$  et  $i'$ :  $P = ii' \oint \oint \frac{d\ell d\ell'}{\ell - \ell'}$ . A propos de la découverte de Neumann, voir Darrigol (2000a, 45).

<sup>b</sup>Variante: "de l'antenne d'émission et de réception".

## Chapitre 9

# René Blondlot

René Blondlot (1849–1930) est le fils d'un professeur à la faculté de médecine de Nancy—tout comme son ami Henri Poincaré. Il conçoit de nombreux instruments de mesure, dont un wattmètre avec Pierre Curie, et un électromètre absolu avec Ernest Bichat. Il est célèbre pour sa découverte en 1903 de rayons fictifs, des rayons N, dans lesquels une bonne partie de la communauté scientifique française croit pendant plus d'un an. En témoignent les nombreuses communications sur les rayons N dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* et les fréquentes visites de scientifiques à Nancy. La plupart des physiciens, dont les Allemands Otto Lummer et Heinrich Rubens, et les Français Paul Langevin et Jean Perrin, n'arrivent pas à reproduire les phénomènes décrits par Blondlot. Peu après la défaite de Crémieu face à l'Américain Pender (§ 45) au sujet de l'effet Rowland, la réalité des rayons N devient une cause nationale, comme l'observe Mary-Jo Nye (1986, 71). L'Académie des sciences soutient Blondlot par un prix en décembre 1904, mais l'intéressé, qui est correspondant de l'Académie depuis 1894, comprend qu'il faut mettre fin à ses contributions (*DSB*; De Solla Price, 1961; Firth, 1969; Lagemann, 1977; Rosmorduc, 1972; Thuillier, 1978; Weart, 1978; Klotz, 1980).

Les lettres transcrites ici concernent tout d'abord les ondes électromagnétiques, dont on trouve les compléments théoriques dans les notes de la correspondance avec H. Hertz (§ 30). Les expériences de Blondlot dans ce domaine sont admirées de tous; elles établissent son autorité scientifique, et contribuent à l'adoption des idées de J.C. Maxwell et de Hertz. Blondlot travaille ensuite sur les rayons X; c'est en poursuivant ses recherches dans ce domaine qu'il tombe sur les rayons N, qu'il décrit en détail à Poincaré.

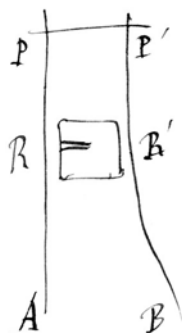
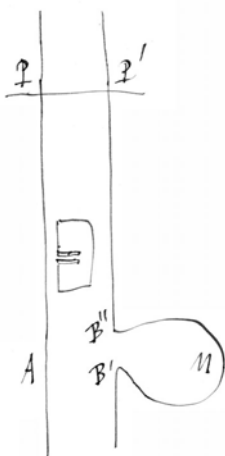
### 9.1 Blondlot à Poincaré

Nancy 29 Nov. 1891

Cher Monsieur,

Une indisposition m'a empêché de vous répondre plus tôt; voici les éclaircissements que je puis vous donner: Dans la recherche des nœuds, le résonateur reste fixe; c'est le pont

que je déplace jusqu'à ce que l'étincelle du résonateur soit éteinte : ce pont est mobile le long des fils, et c'est la seule partie mobile de l'appareil.<sup>1</sup> (Je n'ai pu indiquer cette disposition dans ma Note des *Comptes Rendus*, faute d'espace).<sup>2</sup>



Dans l'expérience où l'on intercale une boucle  $B'MB''$ , non seulement l'internœud ne se trouve pas modifié, mais, puisque la position du pont reste la même, la position absolue des nœuds reste la même, on a toujours un ventre au pont. Quant à l'influence de la boucle  $B'MB''$  sur la netteté des nœuds, sur l'intensité maximum aux ventres, je n'ai rien remarqué, mais je dois dire que mon attention ne s'était pas portée sur ce point, et que de nouvelles expériences sont nécessaires : je vais le faire avec l'aide de M. Dufour, mon élève de l'école normale, qui a eu l'idée de l'expérience de la boucle.<sup>3</sup> Je vous écrirai les résultats de l'expérience.

Voici les idées théoriques fort simples que je me fais sur la production de la résonance dans mes expériences ; ces idées sont du reste conformes à celles de V. Bjerknes.<sup>4</sup>

Considérons une protubérance d'onde partant de  $A$  et voyageant vers  $PP'B \dots$  ; elle agit deux fois sur le résonateur, une fois en  $R$  avant d'avoir franchi le pont, une seconde fois en  $R'$  après.<sup>5</sup> Si l'intervalle de temps entre ces deux actions est un nombre impair de fois le  $T/2$  du résonateur, il y a destruction de l'effet ; si cet intervalle de temps est un nombre pair de fois le  $T/2$  du résonateur, il y a renforcement. Il y aura donc suppression ou maximum d'étincelle selon que la longueur du fil  $RPP'R'$  sera un multiple impair ou pair de  $\lambda/2$ .

On peut dire la même chose de l'onde qui va de  $B$  vers  $P'PA \dots$ , ou même de toute autre onde.

Ce raisonnement est absolument indépendant des phases : il suffit qu'il n'y ait pas destruction réciproque complète des deux ondes, or cela est impossible à cause de la rapidité de l'amortissement. On peut toutefois s'attendre à une influence de la boucle sur la netteté des phénomènes, et aussi à constater, comme vous le dites, que si, laissant le résonateur fixe ainsi que le pont, on fait varier la longueur de la boucle, on aura une série de maxima et de minima.

La longueur totale du circuit doit avoir une influence de même genre.

En réalité il n'y a pas une distribution de nœuds et de ventres sur le circuit, mais deux

points distants de  $\lambda/2$  et agissant concurremment sur un résonateur ont une action résultante nulle, en quelque région que soit pris ce  $\lambda/2$ , tandis que si la distance est  $\lambda$  on a concordance d'action : tel est le fait expérimental. J'ai répondu la même chose à M. Cornu.<sup>6</sup>

Je suis, Cher Monsieur, à votre entière disposition pour tous les renseignements que je pourrais vous donner, ou pour l'exécution d'expériences que vous voudriez m'indiquer. Je vous prie d'agréer l'expression de mon cordial et entier dévouement.

R. Blondlot

### ALS 7p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>L'expérience décrite par Blondlot se proposait de déterminer la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques. Reprenant les conclusions de Sarasin et de la Rive sur la résonance multiple, il bâtit sa démarche expérimentale uniquement sur le résonateur et applique la relation entre la longueur d'onde  $\lambda$ , la période  $T$  et la vitesse de propagation des ondes  $V$  :  $\lambda = VT$ . Il construit un résonateur qui lui permet de déterminer aisément par le calcul la période propre des oscillations dans le résonateur, en appliquant la formule de William Thomson ; voir la discussion de Poincaré (1894a, 51–67). La longueur d'onde  $\lambda$  est celle de la propagation le long des fils. Il parvint à la valeur suivante de la vitesse des ondes électromagnétiques : 297600 km/s. Les nœuds en question sont des nœuds de courant ou de champ magnétique. Sur la figure, le résonateur est bien placé pour être sensible au champ magnétique. Le principe de ces mesures est que les effets produits par les courants circulant dans les deux fils parallèles se superposent dans l'espace qui les sépare. Le pont permet de produire la réflexion de l'onde électromagnétique et de créer des ondes stationnaires. Il provoque, à l'endroit où il se trouve, la formation d'un nœud de potentiel (ou de champ électrique) ou d'un ventre de courant. En le déplaçant, on fait varier la période des oscillations propres du circuit et on peut le mettre ainsi en résonance avec les oscillations primaires.

<sup>2</sup>Blondlot (1891a), note présentée par Poincaré le 09.11.1891. A ce propos, voir aussi (1891b).

<sup>3</sup>Marcel Dufour (1868–1946) entre à l'École normale supérieure en 1888. Au début des années 1900 il traduit des livres d'Ernst Mach en français ; en 1907 il est engagé comme professeur agrégé à la faculté de médecine de Nancy, où il terminera sa carrière comme professeur de physique médicale ; voir *Association amicale des anciens élèves de l'École normale supérieure* 1964, 184, et Legras 2006, 132–133).

<sup>4</sup>Blondlot voit une analogie entre les mécanismes de production des ventres et des nœuds dans ses expériences et les idées de V. Bjerknes (1891b) dans le cas de la réflexion contre une surface plane dans un milieu indéfini.

<sup>5</sup>Poincaré (1894a) reprend l'explication et le schéma ; il s'agit de la formation d'ondes stationnaires.

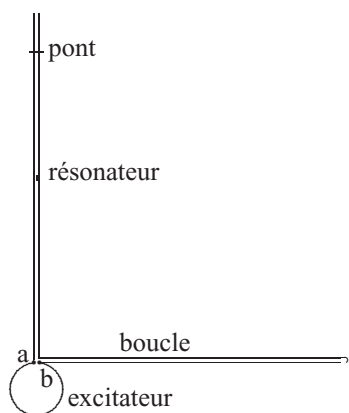
<sup>6</sup>Voir la lettre du 18.02.1891 d'Alfred Cornu à Poincaré (§ 16.1).

## 9.2 Blondlot à Poincaré

Nancy 16 décembre 1891

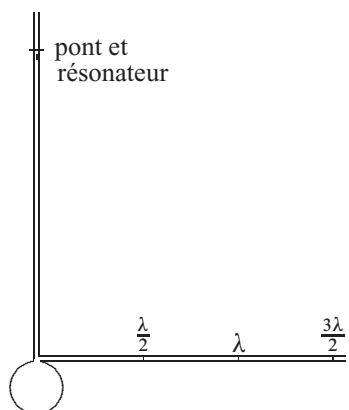
Cher Monsieur,

Je viens de faire une série d'expériences avec l'aide de M. Dufour, ancien élève de l'École Normale, l'un de nos candidats à l'agrégation.<sup>1</sup>



Nous avons d'abord constaté de nouveau que la boucle intercalée dans l'un des côtés du circuit est sans influence aucune sur l'internœud : l'expérience a été répétée dans les conditions les plus diverses : la longueur de la boucle a varié de 0 à  $\lambda$ , c'est à dire de 0 à 20, mètres<sup>48</sup> avec cette dernière valeur, la longueur du fil entre *b* et le pont était 32 mètres, tandis que la longueur entre *a* et le pont était 12 mètres : la figure ci-contre représente les fils à l'échelle de 5 millimètres pour 1 mètre. Malgré cette extrême dissymétrie, la position du pont qui annule l'étincelle du résonateur est la même que quand la boucle n'existe pas : elle est la même pour toute les longueurs que l'on peut donner à la boucle.

Mais si l'internœud observé reste le même, par contre, l'intensité des phénomènes de résonance change beaucoup ; vous avez prévu et vous m'avez annoncé la production de maxima et de minima d'intensité dans les ventres suivant la longueur donnée à la boucle. Nous avons constaté l'existence de ces maxima et minima, qui sont extrêmement nets. Pour une raison que j'indiquerai plus loin, j'ai pris, pour ces expériences, la longueur totale du circuit, boucle non comprise, égale à un nombre entier de fois la longueur d'onde (2 fois).



Le résonateur étant placé dans le voisinage du pont, voici l'influence de la boucle sur l'étincelle :

longueur de la boucle	étincelles
Zéro	fortes
$\lambda/2 = 10,24$ mètres	très faibles
$\lambda = 20,48$ mètres	fortes
$3\lambda/2 = 30,72$ mètres	très faibles.

Voici encore une expérience faite avec un circuit dont la longueur totale, non compris la boucle, était  $\lambda = 20, \text{mètres}^{48}$  :

longueur de la boucle	étincelles
Zéro	très fortes
$\lambda/2 = 10^m, 24$	très faibles

Il me semble que, dans ces expériences, l'adjonction de la boucle agit de deux manières :  
 1° en introduisant une dissymétrie et par là un intervalle de temps entre les impulsions dues aux ondes parties simultanément de *a* et de *b* et se dirigeant vers le pont.  
 2° en changeant la longueur totale ; une onde une fois lancée le long du fil, de *a* vers

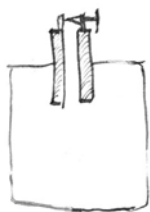
le pont par exemple, doit, ce me semble, continuer à parcourir le fil dans le même sens, jusqu'à ce qu'elle s'éteigne. Si donc le résonateur est placé près du pont, il recevra de la part de cette onde des impulsions électromotrices séparées par des intervalles de temps égaux au temps que l'onde emploie à parcourir une fois le circuit.

Si la longueur totale du circuit, sans la boucle est égale à un nombre entier de fois  $\lambda$  (je suppose la longueur du circuit =  $\lambda$ ), les deux effets de l'adjonction de la boucle agissent dans le même sens : par exemple, si la boucle =  $\lambda/2$ , les impulsions dues à une même onde sont distantes de  $3T/2$ , et par conséquent, tendent à se détruire ; de même, les impulsions dues aux deux ondes partant respectivement de  $a$  et  $b$  sont distantes de  $T/2$  et tendent aussi à se détruire. Pour ces deux raisons l'étincelle doit être très faible, et c'est ce que l'on constate. De même pour les autres longueurs de la boucle.

On pourrait se demander lequel de ces deux modes d'action (par dissymétrie ou par longueur totale) l'emporte sur l'autre ; l'expérience suivante répond à cette question : la longueur totale, sans la boucle, étant  $3\lambda/2$  on obtient des étincelles fortes ; en adjoignant une boucle =  $\lambda/2$ , les étincelles deviennent très petites : donc l'amélioration due à ce que la longueur totale est devenue  $\lambda$  n'est pas comparable à l'effet défavorable due à la dissymétrie introduite.<sup>3</sup>

Je n'ai pas jugé à propos de faire des expériences dans lesquelles la longueur totale du circuit n'eût pas été un nombre exact de fois  $\lambda$ , parce qu'il me semble qu'on obtiendrait ainsi des résultats très complexes, bâtards, à cause de l'action simultanée de la boucle sur la dissymétrie et sur la longueur totale.

Je ne sais si la manière dont je considère ces phénomènes concorde exactement avec la vôtre, je crains même qu'il n'en soit pas tout à fait ainsi, puisque l'amortissement n'entre pas d'une façon apparente dans mon explication ; peut être cependant est-ce la même chose au fond.<sup>2</sup>



J'attendrai votre avis sur tout ceci avant de rien rédiger. La disposition du micromètre à étincelle du résonateur est bien celle que vous indiquez : l'autre ne fonctionnerait évidemment pas. Merci du conseil que vous me donnez relativement à M. Fizeau ; je ne puis rien introduire à ce sujet dans le mémoire que j'ai donné au *Journal de Physique*, car il doit être sous presse, mais je ferai la chose d'une autre manière, dussé-je faire un petit article exprès dans le *Journal de Physique*.<sup>3</sup> Je vais écrire en ce sens à M. Fizeau. Je vais aussi écrire à M. Cornu.

Excusez, Cher Monsieur, une si longue lettre, et agréez avec tous mes remerciements l'assurance de mon cordial et entier dévouement.

R. Blondlot

#### ALS 9p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Marcel Dufour.

<sup>2</sup> Poincaré (1891c) prend l'amortissement en considération.

<sup>3</sup> Le manuscrit porte une annotation de main inconnue : "Ceci n'indique-t-il pas que l'onde s'éteint rapidement en se propageant ?"

<sup>3</sup>Blondlot (1891b). En 1850, Armand Fizeau (1819–1896) et E. Gounelle ont établi la vitesse de propagation des ondes dans les fils. Poincaré note qu'ils ont obtenu les valeurs de 100000 km/s dans le fer et 180000 km/s dans le cuivre (Poincaré, 1894a, 181).

## 9.3 Blondlot à Poincaré

Nancy 1 février 1892

Cher Monsieur,

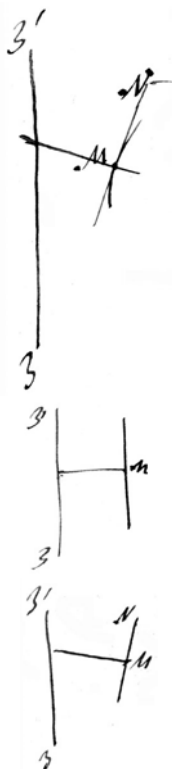
J'ai voulu, avant de publier les expériences dont je vous ai parlé, les répéter en variant largement les conditions expérimentales; de là le long intervalle de temps entre votre dernière lettre et celle-ci.<sup>1</sup> Cette nouvelle épreuve n'a, du reste, fait que confirmer les premiers résultats, qui sont maintenant définitivement acquis; je vous adresse deux Notes, l'une sur le procédé que j'emploie pour produire les ondes électromagnétiques, l'autre, commune à M. Dufour et à moi, sur l'expérience de la boucle :<sup>2</sup> Si vous jugez ces notes dignes de l'Académie, et si vous voulez bien les présenter, la note sur l'excitateur doit précéder la note sur la boucle. J'adresse à Gauthier-Villars les bois des figures.<sup>3</sup>

J'ai rencontré une difficulté que je me permets de vous soumettre : dans le second volume de votre *Électricité et Optique*, p. 191, vous traitez de la propagation des ondes le long d'un fil métallique, et vous établissez que, si la vitesse de propagation est la même que dans l'air, autrement dit égale au rapport des unités,  $h$  est constamment nul, les lignes de force sont dans des plans perpendiculaires au fil.<sup>4</sup> Or l'égalité des deux vitesses a été prouvée par MM. Sarasin et de la Rive et par moi; il en résulterait que mon résonateur ne pourrait pas fonctionner; or il donne de très fortes étincelles, même avec un seul fil.



Voici, à ce qu'il me semble, l'explication de cette contradiction : Au début de votre analyse, vous posez  $\Pi = \phi(\rho) \cos(mz + pt)$ ;<sup>5</sup> cela suppose implicitement que les phénomènes électromagnétiques se propagent le long du fil en conservant leur intensité, autrement dit qu'il n'existe aucune déperdition d'énergie : or l'expérience est contraire à cette supposition, car j'ai constaté que l'intensité des ondes diminue très vite, même le long des fils. Ne faudrait-il pas, en conséquence, poser  $\Pi = \phi(\rho, z) \cos(mz + pt)$ ? Il est probable qu'avec cette forme plus complexe, on n'aurait plus  $h = 0$  dans tout l'espace.





Le raisonnement suivant, fondé sur d'autres considérations, me semble montrer qu'il en est bien ainsi : d'après Poynting, la trajectoire de l'énergie est en chaque point normale à la force électrique et à la force magnétique en ce point. Soit  $zz'$  le fil,  $M$  un point, et  $MN$  la tangente à la trajectoire de l'énergie. Si, comme vous le supposez, il n'y a pas de déperdition de l'énergie, toute trajectoire de l'énergie est une parallèle à  $zz'$ , et par conséquent, la force électrique qui lui est normale est normale à  $zz'$  : c'est votre conclusion.

Imaginons qu'au contraire il y ait déperdition d'énergie, soit par émission au dehors, soit par dissipation dans le fil ; les trajectoires de l'énergie changent de forme, et la tangente en  $M$  deviendra oblique par rapport à  $zz'$ , et par suite, la force électrique en  $M$ , qui est normale à cette tangente et qui doit nécessairement rencontrer  $zz'$ , sera oblique par rapport au fil, ce qui explique le fonctionnement de mon résonateur.

Du reste les lignes de force électrique peuvent parfaitement rencontrer normalement le fil : la démonstration que vous en donnez p. 79 n'est pas atteinte par le raisonnement précédent, il suffit que les trajectoires de l'énergie soient tangentes au fil.<sup>6</sup>

Ai-je rencontré juste dans mon explication ? Je désirerais beaucoup avoir une certitude sur ce point, qui me semble bien important.

Je commence à installer des expériences dans le but de contrôler la relation de Maxwell entre la constante diélectrique et l'indice, pour *la même rapidité de variation de la force électromotrice*.<sup>7</sup>

Voici le principe de ma méthode : pour un résonateur donné, on a, dans un premier milieu  $T = 2\pi\sqrt{CL}$ , d'où  $\lambda = 2\pi\sqrt{L} \cdot \sqrt{C} \cdot V$  ; dans un second milieu, on a  $\lambda' = 2\pi\sqrt{L} \cdot \sqrt{C'} \cdot V'$  ; d'où

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{\frac{C}{C'}} \cdot \frac{V}{V'}$$

Donc, si la loi de Maxwell est vraie,  $\lambda = \lambda'$  : on devrait donc constater que la longueur d'onde correspondant à un résonateur donné est indépendante du milieu.<sup>8</sup> Je crois<sup>b</sup> qu'il suffira de changer le milieu entre les armatures du condensateur et dans la région qui avoisine les fils qui transmettent les ondes, ceux-ci étant rapprochés autant que possible. ...

<sup>b</sup>Le manuscrit porte un point d'interrogation de main inconnue en interligne.

Veillez, je vous prie, excuser cette longue lettre, et agréer, en même temps que mes remerciements anticipés, l'assurance de mes sentiments de cordial et entier dévouement.

R. Blondlot

#### ALS 7p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Voir (§ 9.2).

<sup>2</sup>Marcel Dufour.

<sup>3</sup>Blondlot (1892); Blondlot et Dufour (1892), notes présentées par Poincaré le 8 et le 15.02.1892, et commentées (1892d) le 21.03.1892.

<sup>4</sup>Poincaré (1890–1891, II, 191–195).  $h = 0$  est la condition nécessaire pour que les lignes de force électrique (le champ électrique) soient perpendiculaires au fil ;  $h = 0$  indique que la composante du champ électrique est nulle dans l'axe du fil (axe  $zz'$ ).

<sup>5</sup>Le cours de Poincaré (1890–1891, II, 192) pose plutôt  $\Pi = \psi(\rho) \cos(mz - pt)$ .

<sup>6</sup>(Poincaré, 1890–1891, II, § 79, p. 170).

<sup>7</sup>La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu de pouvoir inducteur spécifique  $\varepsilon$  est  $c/\sqrt{\varepsilon}$ , alors que la vitesse de propagation de la lumière dans un milieu d'indice de réfraction  $n$  est  $c/n$ . L'hypothèse de Maxwell est qu'il y a identité des deux phénomènes, ce qui conduit à la relation  $\varepsilon = \hat{n}^2$ . Or,  $n$  est une fonction de la longueur d'onde, et la théorie ne prévoit l'égalité entre  $\varepsilon$  et  $\hat{n}^2$  que si ces quantités correspondent à des vibrations de même période.

<sup>8</sup>Poincaré décrit les expériences de Blondlot dans son cours sur les oscillations électriques (§894a, 291).

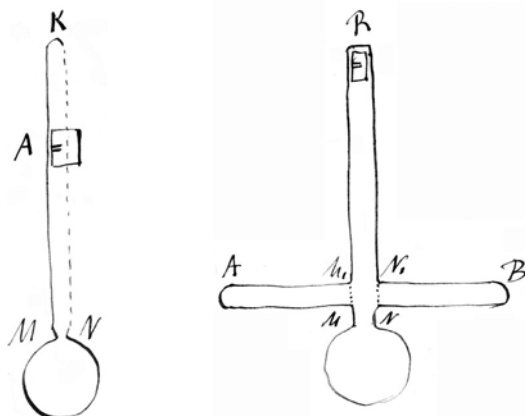
## 9.4 Blondlot à Poincaré

Nancy 8 février 1892

Cher Monsieur,

Je puis dès aujourd'hui répondre à quelques unes des questions que vous me posez. J'ai fait un très grand nombre d'expériences en faisant agir un seul fil : pour cela, j'écartais le second fil aussi loin que possible, en le plaçant, par surcroît de précaution, dans le plan vertical également distant des deux grands côtés du résonateur. Celui-ci fonctionne encore fort bien sous l'action de ce fil unique ; on constate l'extinction lorsque la différence des longueurs  $MA$  et  $NKA$  est  $\lambda/2$  ou un nombre impair de fois  $\lambda/2$ ,  $\lambda$  étant la longueur d'onde mesurée par le procédé ordinaire à l'aide des deux fils ; au contraire on a des maxima lorsque cette différence est nulle ou égale à un nombre pair de fois  $\lambda$ .

Ces observations concordent avec la théorie de la résonance : que les impulsions successives parviennent au résonateur par 2 fils ou par un seul, cela revient au même.



Quant à la diminution de l'étincelle par l'augmentation de la longueur du fil de transmission, voici comment je l'observe très aisément : le résonateur est placé en  $R$  ; deux boucles égales  $MAM_1$  et  $NBN_1$  sont intercalées dans les fils parallèles ; on peut les supprimer ou les rétablir instantanément à l'aide de deux ponts  $MN_1$ ,  $NN_1$ .

J'ai constaté que l'on peut facilement régler la distance explosive au micromètre à étincelles du résonateur de façon à avoir une forte étincelle quand les ponts  $MM_1$ ,  $NN_1$  sont en place et à n'avoir aucune étincelle lorsque les ponts sont enlevés : autant qu'il m'en souvient, l'expérience réussit déjà sans difficulté avec des boucles de deux mètres chacune. Ces expériences et une foule d'autres me permettent d'affirmer que l'affaiblissement du champ électromoteur se fait progressivement sur toute la longueur du fil ; quant à la perte d'énergie due au voisinage du fil de l'excitateur, elle existe certainement, j'en ai la preuve expérimentale, mais elle est tout à fait distincte de la perte progressive qui a lieu le long des fils de transmission.<sup>1</sup>

Je vous remercie encore de l'attention que vous voulez bien accorder à mes expériences, et vous prie d'agréer l'assurance de mes sentiments amicaux et bien dévoués.

R. Blondlot

**ALS 4p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1894a, §67) reprend l'explication et le schéma de Blondlot ; il distingue les amortissements de vibration et les amortissements de propagation.

## 9.5 Blondlot à Poincaré

Nancy 29 Mars 1892

Cher Monsieur,

Grand merci pour votre bienveillant rapport, d'abord pour l'avoir écrit, puis pour l'avoir fait accepter par M. Fizeau.<sup>1</sup> Cela m'encourage au travail : je cherche en ce moment à contrôler la relation entre la constante diélectrique et l'indice de réfraction des *ondes*

*électriques* par une méthode dont je crois vous avoir parlé, et qui est fondée sur l'indépendance de la longueur d'onde d'un résonateur relativement au milieu diélectrique ; une expérience que je viens de faire avec l'essence de térébenthine du commerce confirme d'une manière très précise la loi de Maxwell : je vais varier cette expérience et essayer d'autres corps.<sup>2</sup>

Je crois de plus en plus que la force électrique ne peut couper normalement les conducteurs dans le cas des oscillations hertziennes. Ne doit-on pas considérer la surface de ceux-ci, non comme une surface géométrique, mais comme une couche de transition, d'épaisseur très faible mais *finie* ? Ce serait dans cette couche que se passeraient les courants de conduction, qui existent certainement et dont une surface géométrique ne peut être le siège. Il me semble impossible de concevoir les choses autrement. Veuillez agréer, avec la réitération de mes remerciements, l'assurance de mon cordial et bien affectueux dévouement.

R. Blondlot

### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Il s'agit sans doute de Poincaré (1892d) ; Hippolyte Fizeau et Henri Becquerel servaient de commissaires.

<sup>2</sup> Les expériences de propagation des oscillations électriques dans les diélectriques autres que l'air peuvent vérifier la relation de Maxwell  $\varepsilon = n^2$ . L'égalité entre la constante diélectrique et le carré de l'indice de réfraction permet en effet d'établir la correspondance entre le domaine des ondes électriques et celui de la lumière.

## 9.6 Blondlot à Poincaré

Nancy 8 janvier 1893

Cher Monsieur,

Vous avez pris la peine de faire deux tentatives pour me voir lors de votre court séjour à Nancy ; j'ai éprouvé un grand regret de ne m'être trouvé ni à la maison ni à la Faculté ce jour-là. Ce regret est d'autant plus vif que la résolution prise par Madame votre mère d'aller habiter à Paris me fait craindre de ne vous revoir que bien rarement à Nancy, bien que nous espérions que, comme M. Hermite, vous reviendrez quelquefois dans votre ville natale, où vous laissez des souvenirs, des parents et de sincères amis.<sup>1</sup>

Je crois que l'on vous a rapporté un petit incident survenu entre Perot et moi ; je crains d'avoir manifesté sur le moment un mécontentement trop grand pour un motif si peu important. Perot a les défauts de ses qualités : il est très actif, mais son activité est parfois un peu indiscreète et le rend envahissant. Je ne voudrais pas que cette petite affaire lui nuisit à vos yeux.<sup>2</sup>

La période de froids que nous venons de traverser m'a permis de réaliser des expériences sur la propagation des ondes électriques dans la glace. La disproportion entre la constante diélectrique attribuée à la glace—78 d'après Bouty—et celle des autres diélectriques, donnait à cette étude un intérêt spécial.<sup>3</sup>

J'ai d'abord constaté, à ma grande surprise, et même je devrais dire à mon grand désappointement, que la longueur des ondes émises dans la glace par un oscillateur aussi dans la glace est la même que quand tout l'appareil, oscillateur et fils, est dans l'air : ce résultat

est conforme à celui que j'avais trouvé pour l'essence de térébenthine et l'huile de ricin ; l'expérience est seulement plus difficile avec la glace et la précision un peu moins grande, parce qu'on ne peut faire mouvoir le pont dans la glace et qu'on est, par suite, obligé de démolir celle-ci un peu en deçà du nœud.

Ce résultat m'a conduit à remesurer la constante diélectrique de la glace, cette fois à l'aide des oscillations Hertiennes : je mesurais le long d'un fil aérien la longueur d'onde correspondant à un résonateur donné, celui-ci étant immergé successivement dans la glace et dans l'air : le carré du rapport des longueurs d'onde est la constante diélectrique de la glace. Ici, nouvelle surprise : l'expérience répétée nombre de fois, avec plusieurs résonateurs m'a donné des nombres probablement voisins de 2,6 et en tous cas *sûrement plus petite que 3*. Il y a désaccord complet avec le nombre de Bouty, je ne dirai pas avec les expériences de Bouty, car la quantité mesurée est sans doute différente dans les deux cas ; mais je me trouve cette fois en contradiction complète avec Perot,<sup>[\*]</sup> qui employant une méthode analogue à la mienne, a trouvé des nombres voisins de 70.<sup>4</sup> *Je suis tout à fait sûr des miens* et je ne puis expliquer ceux de Perot ; sans doute les longueurs d'onde étaient trop petites comparativement aux dimensions du circuit de son résonateur, ou bien encore, il aura peut être pris un nœud d'ordre supérieur au lieu du premier ? En tous cas, je crains que l'idée préconçue de trouver un nombre voisin de celui de Bouty l'ait induit en erreur.<sup>5</sup> J'ai l'intention de lui écrire de recommencer ses expériences.

J'ai fait toutes les expériences préliminaires pour la mesure directe de la vitesse de propagation des ondes par la méthode dont je vous ai parlé ; j'emploie la photographie, qui marche bien.<sup>6</sup> Aussitôt la belle saison revenue, je m'occuperai de me procurer une ligne télégraphique ; ma seule inquiétude est la question de la déperdition et d'isolement : aura-t-on encore une étincelle après un parcours de deux ou trois kilomètres ? Voilà ce que je ne puis savoir d'avance : je compte essayer la transmission au fur et à mesure que l'on construira la ligne, afin de ne pas faire de frais inutiles si la transmission était trop imparfaite.<sup>7</sup>

Voilà une bien longue lettre ; veuillez m'excuser d'abuser ainsi de votre temps et agréer l'expression de mon bien affectueux dévouement.

R. Blondlot

[\*] *Comptes rendus* juin 1892

#### ALS 6p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Charles Hermite. Le père de Poincaré, Léon Poincaré est mort en 1892, et sa mère Eugénie Launois (1830–1897) ne se remariera pas. Ses enfants Henri et Aline habitent à Paris avec leurs familles.

<sup>2</sup> Alfred Perot écrit à Poincaré le 25.12.1892 (§ 46.2), mais ne mentionne pas Blondlot. Blondlot et Perot publient des valeurs discordantes pour la permittivité de la glace, ce qui aurait pu générer un "incident" entre les deux hommes.

<sup>3</sup> Poincaré (1894a, 281–312) signale les différences importantes trouvées pour l'alcool, l'eau et la glace. Il ne fait que constater la différence énorme entre les valeurs déterminées par Blondlot, qui emploie les oscillations hertiennes (autour de 25KHz) et la valeur  $\varepsilon = 78$  déterminée par d'autres (et proche de celle d'Edmond Bouty à laquelle Blondlot fait allusion ici). Plus tard, Poincaré (1901a, 167) notera à nouveau ce problème et l'expliquera par la nature d'électrolyte que l'eau acquiert dès qu'elle contient des traces de sels dissous.

<sup>4</sup> Perot (1892a).

<sup>5</sup> Les mesures présentées par Perot en juin s'approchent de celles faites par Bouty. Plus tard, après rectification de son appareil, Perot (1894) trouvera une valeur proche de celle de Blondlot. L'accord entre Blondlot et

Perot est noté par Poincaré 1894a, 305.

<sup>6</sup>Ainsi que le rapporte Poincaré (1894a, 195), “l’intervalle de temps entre les deux étincelles était apprécié à l’aide d’un miroir tournant qui renvoyait la lumière des étincelles sur une plaque sensible ; on n’avait plus qu’à mesurer la distance des deux images obtenues sur la plaque”.

<sup>7</sup>Poincaré (1894a, 195) mentionne les résultats de Blondlot pour des lignes de 1 kilomètre et 1800 mètres : 293000 et 298000 km/s.

## 9.7 Blondlot à Poincaré

Nancy, février 1899

Mon cher ami,

Je vous adresse, en vous demandant de bien vouloir l’examiner, une Note sur un phénomène dont les considérations théoriques un peu hypothétiques m’avaient fait soupçonner l’existence.<sup>1</sup> Le fait s’est trouvé vrai expérimentalement, et en y réfléchissant de nouveau, j’ai vu qu’il s’explique par une théorie qui, cette fois, n’a plus rien d’hypothétique, et ressort nécessairement de l’analyse de ce qui se passe dans l’expérience. La très courte théorie mathématique que je donne dans ma Note est certainement exacte au fond, seulement la forme n’en est peut être pas entièrement satisfaisante. La cause en est que l’on a affaire ici à un résultat qui n’est vrai que par *statistique*, et qui peut même se renverser dans quelques-uns des éléments pris isolément. Je crois avoir dit tout ce qui peut être dit si l’on ne veut pas se lancer dans des questions particulières d’hydrodynamique ; mais est-ce suffisant ? C’est ce que je vous demande de décider. Si vous pensiez que ma Note puisse passer telle quelle, je vous serais reconnaissant de bien vouloir la transmettre à l’un des Secrétaires pp. de l’Académie ; sinon, je vous le serais encore plus si vous preniez la peine de m’indiquer les améliorations à y apporter.<sup>2</sup>

Comme vous le voyez, je cherche à surmonter mon triste état, de plus en plus déplorable, en cherchant à travailler tant soit peu ; mais avec quelle peine !

C. Gutton a fait sur le passage des ondes électromagnétiques d’un système de conducteurs à un autre un travail étendu et consciencieux, qui, à ce qu’il espère, pourra lui servir de thèse ; je crois, du reste, qu’il vous a écrit à ce sujet.<sup>3</sup> Cet infatigable, que j’envie un peu, s’est déjà remis à un autre travail.<sup>4</sup>

Recevez, je vous prie, avec mes remerciements anticipés l’expression de mes sentiments profondément affectueux.

R. Blondlot

### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Blondlot (1899).

<sup>2</sup>Il s’agit des deux Secrétaires perpétuels de l’Académie, Joseph Bertrand pour les sciences mathématiques et Marcelin Berthelot pour les sciences physiques.

<sup>3</sup>Aucune lettre à ce sujet n’a été retrouvée. Poincaré rédige un rapport sur la thèse de Gutton (1899b), dont une transcription se trouve en annexe (§ 62.5).

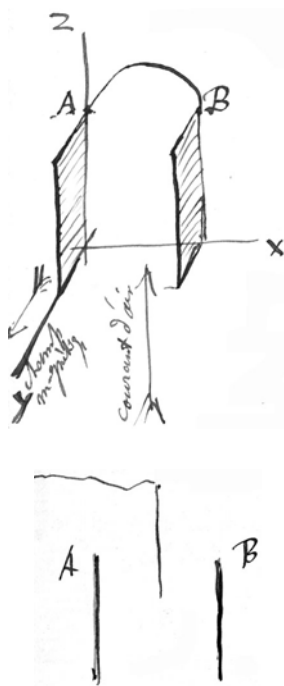
<sup>4</sup>Il s’agit peut-être d’une note sur la propagation des ondes électromagnétique dans l’air et le long des fils (1900a), que Poincaré présente à l’Académie des sciences le 19.06.1899.

## 9.8 Blondlot à Poincaré

Nancy 23 Janvier 1901

Mon cher ami,

Je rumine un projet d'expérience pour décider si, lorsqu'une masse d'air est mise dans un champ magnétique, il s'y produit ou non un déplacement électrique. Mais avant de tenter cette expérience, je voudrais être bien sûr qu'elle atteindrait son but, et que je ne me fourvoie pas dans la théorie qui m'y conduit : c'est pour cela que j'ai recours à votre obligeance.



Voici le dispositif : deux lames métalliques rectangulaires  $A$  &  $B$ ,<sup>c</sup> sont fixées verticalement en regard à la distance de 10 centimètres dans un champ magnétique uniforme parallèle à  $OY$ , et d'intensité = 20000 unités C.G.S. Un courant d'air vertical est lancé de bas en haut entre les lames avec une vitesse de 10 mètres/sec ; les lames sont jointes par un fil métallique. D'après Maxwell & Hertz, il se produira dans le diélectrique de ce condensateur un déplacement électrique parallèle à  $OX$  ; la force électromotrice d'induction qui le produit est  $10 \times 20000 \times 1000 = 2 \times 10^8$  unit. = 2 volts. Il n'y a d'ailleurs pas de force électrostatique, puisque  $A$  &  $B$  sont au même potentiel.

Maintenant, rompons la communication entre  $A$  &  $B$ , puis supprimons le champ & le courant d'air ; le déplacement électrique subsiste, puisque le courant ne peut se fermer : il existe donc à ce moment entre  $A$  &  $B$  une différence de potentiel électrostatique capable de produire ce déplacement, c.à.d. égale à 2 volts. Pour reconnaître cette différence de potentiel, on n'a qu'à introduire entre  $A$  &  $B$  une feuille d'or portée à un haut potentiel, comme dans l'électromètre de Hankel.

L'expérience pourrait même être rendue quantitative, quoique je craigne les perturbations venant de l'électrisation par le courant d'air des supports isolants nécessaires. Si le phénomène en question existe, l'action magnétique d'un courant de déplacement en résulte nécessairement. De plus, cela déciderait entre Hertz et Lorentz.<sup>1</sup>

J'ai tâché d'être tout *Maxwellien*, & il me semble que les modèles mécaniques s'accordent avec ma théorie. Mais est-ce-que je ne me trompe pas ? Est-ce-que je n'ai pas bâti un Château en Espagne ?

Voilà ce que je vous demande de vouloir bien me dire. Je vous adresse l'expression de mes sentiments d'affection & de dévouement.

R. Blondlot

ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>c</sup>Variante : “[de 1cm de large & de 10 centimètres de haut]”.

<sup>1</sup>Dans les conditions expérimentales décrites par Blondlot (1901b), le champ magnétique devait provoquer un courant de déplacement perpendiculaire aux plaques du condensateur, dont la magnitude dépend de l'entraînement de l'éther par la matière en mouvement. Selon la théorie de Hertz (1890a) l'entraînement est total, alors que chez Lorentz il est partiel, de telle sorte que l'électrification des surfaces du condensateur est négligeable. Les mesures de Blondlot confirme la théorie de Lorentz sur ce point. A ce propos, voir Whittaker (1951–1953, I, 403).

## 9.9 Blondlot à Poincaré

Nancy 29 octobre 1901

Mon cher ami,

Vous recevrez en même temps que la présente lettre deux projets de Notes, que je viens vous prier de vouloir bien examiner. Je me suis proposé de rechercher si, lorsqu'une masse d'air est mûe normalement aux lignes de force d'un champ magnétique, il s'y produit ou non un déplacement électrique. Vous vous souvenez peut-être que je vous avais déjà consulté à ce sujet ; je crois être venu à bout de toutes les difficultés qui se présentaient.<sup>1</sup> La seule quantité que j'ai dû calculer indirectement, faute de pouvoir la mesurer, c'est la vitesse du courant d'air que je produisais par détente ; je désire vous soumettre la méthode que j'ai employé pour évaluer approximativement cette vitesse : soit  $m$  la masse de l'air contenue dans le réservoir,  $\omega$  la section de l'orifice,  $v$  la vitesse d'écoulement à cet orifice (estimée vers le dehors) au temps  $t$ , la masse spécifique de l'air à l'orifice et à cet instant ; on a  $dm = -v \cdot \omega \cdot \delta \cdot dt$ , et, pour l'intervalle de temps  $\theta$  entre l'ouverture et la fermeture complète du robinet,

$$-\Delta m = \omega \int_0^\theta v \cdot \delta \cdot dt.$$

Si maintenant j'appelle  $\delta_1$  la masse spécifique de l'air dans le réservoir avant l'ouverture du robinet, on a  $\delta < \delta_1$ , d'où il résulte

$$-\Delta m < \omega \delta_1 \int_0^\theta v dt.$$

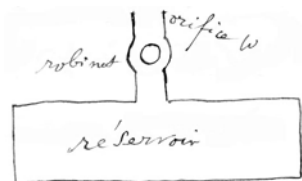
Mais

$$\int_0^\theta v dt$$

est l'aire de la courbe ayant pour abscisses les temps et pour ordonnées les valeurs de  $V$ .

Si l'on assimile cette courbe à deux arcs de paraboles à axes verticaux se raccordant au sommet commun, & si l'on appelle  $V$  la vitesse maxima, cette aire est  $\frac{2}{3}\theta V$ . On a ainsi

$$V > \frac{-\Delta m}{\omega \delta_1 \theta} \times \frac{3}{2}.$$







Connaissant le volume du réservoir : 12 litres, la pression initiale : 2,2 atmosphères, la section  $\omega = 1,5 \text{ cm}^2$ , la chute de pression : 0,3 atmosphère, & le temps  $\theta = 0,11 \text{ sec}$ , j'ai trouvé  $V > 150$  mètre/sec.

Je crois que l'assimilation aux deux arcs de paraboles donne plutôt une valeur trop faible pour la vitesse maxima, car la courbe vraie doit vraisemblablement être plus pointue, et se rapprocher d'un angle tronqué.

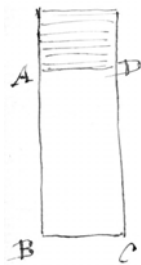
Cette évaluation de la vitesse vous paraît-elle acceptable, au moins comme limite inférieure ?

La première des deux Notes que je vous adresse a pour objet la méthode électrométrique à laquelle j'ai eu recours.<sup>2</sup> La seconde Note contient l'exposé des expériences d'insufflation : le résultat final est que *j'ai constaté l'absence de déplacement électrique*.<sup>3</sup>

D'après cela, il faudrait rejeter la théorie de Hertz pour les corps en mouvement.

Mais il me semble que l'absence de déplacement électrique dans l'air en mouvement dans un champ magnétique a des conséquences bien plus étendues & plus graves : si en effet, le mouvement dans un champ magnétique ne produit pas de déplacement électrique, n'en sera-t-il pas de même lorsque, tout étant immobile, le champ variera d'intensité ? Et alors que devient la théorie de Maxwell ?

Bien plus encore : si je ne me trompe, la non existence du déplacement électrique lors du mouvement dans un champ magnétique entraîne la non existence d'une action magnétique émanant du diélectrique d'un condensateur à air pendant que le condensateur se charge, autrement dit du courant de déplacement de Maxwell dans le cas de l'air.



Considérons en effet l'expérience suivante : un circuit rectangulaire ouvert  $ABCD$  se termine en  $A$  &  $B$  aux deux armatures d'un condensateur à air, le plan des armatures étant normal à  $ABCD$ .<sup>4</sup> Une boîte isolante très mince sert à rendre l'air du condensateur mécaniquement solidaire des armatures. L'appareil étant placé dans un champ magnétique uniforme dont les lignes de force sont normales au plan  $ABCD$ , donnons à l'ensemble une translation parallèle à  $AB$  ; il y aura courant induit, car il existe une force électromotrice le long de  $BC$ , point le long de  $AB$  &  $CD$ , point non plus dans la masse d'air, d'après mes expériences. Maintenant, il est clair que, grâce à une loi convenable de l'accélération du mouvement de translation, on pourra obtenir un courant constant ; l'intensité de ce courant sera alors simplement

$$i = \frac{-\frac{dN}{dt} - V}{R},$$

$N$  désignant le nombre de lignes de force coupées par  $BC$ ,  $R$  la résistance du fil, &  $V$  la différence de potentiel des armatures du condensateur. On tire de là

$$i^2 R dt = -i dN - V i dt;$$

mais

$$V i dt = d \left( \frac{C V^2}{2} \right),$$

$C$  capacité du condensateur, est le gain d'énergie du condensateur, & ainsi, l'équation de l'énergie a lieu entre l'effet Joule, le travail ( $-i dN$ ) de l'agent qui a opéré la translation en surmontant les forces électromagnétiques le long de  $BC$ , & enfin le gain d'énergie du condensateur : pas de terme correspondant au travail d'une force électromagnétique agissant sur l'air du condensateur, & par suite pas de *force de cette nature* (ceci est encore d'accord avec Lorentz). Mais, cette fois encore, qu'advient-il de la théorie de Maxwell ? Si je ne me trompe pas en tout ceci, fasse le Ciel que Rowland ait raison & que Crémieu ait tort, car autrement, il ne nous resterait aucun Saint à qui se vouer.<sup>5</sup> Et pourtant l'effet Rowland me semble dépendre du mouvement absolu, ce qui n'eut pas effrayé Newton, qui croyait que la force centrifuge en dépendait, mais répugne à nos cervelles modernes. Excusez, je vous prie, cette longue lettre, & pardonnez moi de vous infliger la correction d'un devoir de plus, par ce temps de baccalauréat.

Bien cordialement à vous

R. Blondlot

P.S. Lorsque l'on fait tourner tant soit peu rapidement un disque d'ébonite ou de paraffine, il s'électrise fortement, sans doute par frottement contre les poussières. Cela paraît rendre impossible d'opérer avec des diélectriques autres que l'air. Toutefois, je ne désespère pas de m'en tirer autrement.

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Voir la lettre de Blondlot du 23.01.1901 (§9.8).

<sup>2</sup> Blondlot (1901c).

<sup>3</sup> Blondlot (1901b).

<sup>4</sup> Blondlot (1901a) conclut de son expérience une mise en cause du principe d'action et de réaction.

<sup>5</sup> A propos des expériences de Crémieu voir l'introduction à sa correspondance (§17).

## 9.10 Blondlot à Poincaré

Nancy 3 novembre 1901

Mon cher ami,

Je vous remercie de m'avoir répondu avec tant d'empressement. Les bois, ou plutôt les *zincs* destinés aux deux Notes seront expédiés demain matin lundi à Gauthier-Villars ; puisque vous avez mes manuscrits entre les mains, je vous demanderais d'avoir l'obligeance de les remettre en temps utile à l'Académie.<sup>1</sup>

Je vais essayer d'expliquer mieux en quoi mon expérience me paraît en contradiction avec Maxwell : j'entends la théorie de Maxwell lui-même, en *y joignant le principe de Newton sur l'action & la réaction*, que Maxwell n'aurait sans doute pas voulu rejeter. Je suppose que le milieu est de l'air.<sup>2</sup> Il résulte de mes expériences, jointes au Principe de l'énergie, qu'un courant de déplacement (ou plutôt l'air qui en est le siège) ne subit aucune action de la part d'un pôle. Inversement, d'après le principe de Newton, le courant de déplacement

n'exerce aucune action sur un pôle : autrement dit, il existe des courants ouverts. Or la théorie primitive de Maxwell repose précisément sur l'action magnétique des courants de déplacement ; autrement dit, il admet que tous les courants sont fermés : c'est de là qu'il tire l'un de ses groupes d'équations, lequel à ce que je crois, n'aurait pas lieu sans cela. Du reste, si je ne me trompe, je suis ici d'accord avec votre lettre, où vous dites que la théorie de Maxwell pourrait être renversée si celle de Lorentz l'était : or le principe de Newton que je crois devoir adjoindre à la théorie de Maxwell, renverse précisément la théorie de Lorentz.<sup>3</sup>

Il me semble que, d'après mon expérience & ses conséquences, Maxwell ne pourrait subsister, même pour les corps en repos, si l'on voulait conserver le principe de Newton.<sup>4</sup> Excusez mon insistance, mais l'incertitude me pèse, relativement à une question que je crois importante, & qui me paraît absolument claire, à moins que je ne vois tout à fait trouble ou de travers.

Fidèlement à vous,

R. Blondlot

### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Blondlot (1901b,a). Gauthier-Villars est la maison d'édition parisienne qui publie les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences, dirigée par Albert Gauthier-Villars.

<sup>2</sup>J.C. Maxwell.

<sup>3</sup>La lettre de Poincaré nous manque.

<sup>4</sup>Pour les corps en mouvement, Poincaré (1900a) montre que la théorie de Lorentz (1895) ne respecte pas le principe d'action-réaction, un résultat qui n'a pas troublé Lorentz (§38.1).

## 9.11 Blondlot à Poincaré

Nancy Novembre 1901

Mon cher ami,

Les projets d'expérience de M. Crémieu sont assurément ingénieux, mais je les crois difficiles à exécuter.<sup>1</sup> Je craindrais de faire moi-même une telle entreprise, d'autant plus que me voici de nouveau dans un état de détraquement abominable, sans que j'en sache la raison, à moins que ce soit le travail de laboratoire, auquel je ne me suis pourtant livré que bien modérément. N'est-ce pas à M. Crémieu lui-même d'entreprendre ces essais : l'habileté qu'il a acquise dans le maniement des appareils les plus délicats le met plus que personne à même de les mener à bonne fin.

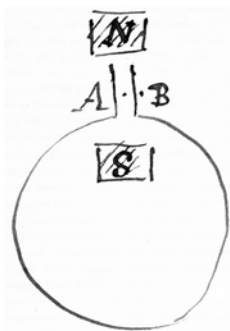


Ayant disposé le condensateur dans un champ magnétique horizontal et normal à l'axe du condensateur, j'ai cherché si la tache de plombagine ne se déplaçait pas peu-à-peu vers

Cet été j'avais fait une expérience du même genre : Un condensateur cylindrique très long est fixé horizontalement ; vers le milieu de la longueur, on dépose en *A* un peu de poudre de plombagine. Lorsque le condensateur est chargé, la poudre fait la danse des pantins très longtemps entre les armatures.

l'un des bouts du tube. Je n'ai rien vu, mais l'expérience n'est pas concluante, parce que le débit est extrêmement faible, & que la poudre était dispersée en 10 minutes environ avant que les déplacements longitudinaux qui, d'après Rowland, doivent avoir lieu à chaque va-&-vient, eussent pu s'accumuler suffisamment pour donner un résultat sensible.<sup>2</sup>

Autre chose : je viens de faire une expérience pour essayer de répondre quelque peu à cette question : peut-on faire intervenir l'éther pour retrouver la réaction qui fait défaut d'après plusieurs théories électromagnétiques ?<sup>3</sup>



Soit  $AB$  un condensateur dont les armatures sont disposées verticalement dans le champ vertical d'un électro-aimant  $NS$ . Lorsque le condensateur se charge (ou se décharge), le courant de déplacement entre les armatures agit sur l'aimant ; dans le cas où le diélectrique est le vide ou l'air, la réaction fait défaut, au moins de la part de la matière ordinaire. On peut, comme vous le dites, se demander si ce n'est pas l'éther qui subit cette réaction. S'il en est ainsi, l'éther doit être poussé entre les armatures en avant (ou en arrière) du papier & acquérir une vitesse en rapport avec sa faible densité & son indépendance vis-à-vis des gaz. Alors si on fait interférer deux rayons de lumière, dont l'un passe à droite & l'autre à gauche de l'une des armatures, les franges seront déplacées à chaque charge (ou décharge) du

condensateur. J'ai fait l'expérience, en prenant comme source de lumière une étincelle qui se produisait pendant les décharges, afin d'éviter la superposition des franges déplacées & des franges non déplacées. Or il n'y a pas le plus petit changement lorsque l'électro-aimant était en activité ou non. Pour sûr l'effet en question n'existe pas.

Je me demande si cette expérience vaut la peine d'être publiée.<sup>4</sup> D'une part, elle est négative, mais d'autre part, il me semble que c'est un document ; car je l'ai faite avec le plus grand soin.

Fidèlement à vous,

R. Blondlot

**ALS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup> Sur les expériences de Victor Crémieu, voir l'introduction de sa correspondance (§17).

<sup>2</sup> Henry Rowland.

<sup>3</sup> Les théories de l'électron de Lorentz et de Larmor ne respectent pas le principe de réaction, comme Poincaré (1900a) le souligne.

<sup>4</sup> Cette expérience n'a pas été publiée.

## 9.12 Blondlot à Poincaré

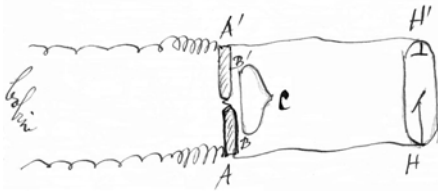
Nancy 4 Février 1902

Mon Cher ami,

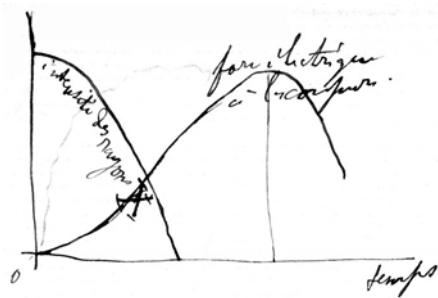
Avant de vous entretenir de Choses Scientifiques, je veux vous annoncer une nouvelle qui certainement vous fera plaisir : c'est la nomination de Camille Gutton comme maître de Conférences à notre Faculté (en place de Perreau nommé à Besançon) ; nous sommes tous

heureux ici de nous attacher définitivement cet excellent garçon, au cœur droit, à l'esprit solide & en même temps beaucoup plus fin qu'on ne pourrait le croire au premier abord.<sup>1</sup> Avec ces qualités, & grâce aussi à ses aptitudes pour l'expérimentation & à son sentiment de la réalité, il rendra certainement de bons services dans l'enseignement, en même temps qu'il exécutera d'utiles travaux de recherche. Maintenant, je vais vous raconter des expériences.<sup>2</sup>

J'ai voulu essayer d'avoir quelque renseignement sur l'ordre de grandeur de la vitesse de propagation des rayons X. Le principe de la méthode de Roemer pour la vitesse de la lumière m'a paru pouvoir être jusqu'à un certain point appliqué ici, & cette idée m'a conduit à l'expérience suivante :<sup>3</sup>



un bain d'huile (non représenté). Au dessous du vase qui contient cette huile, est disposé un résonateur formé d'une boucle de fil de cuivre, (que j'ai représenté à côté de l'excitateur, mais dont la partie rectiligne  $BB'$  est en réalité au dessous même de cet excitateur); la coupure  $C$  est tournée du côté du tube de Crookes, & protégée contre toute autre radiation par une lame d'aluminium & des écrans de papier verni. En réglant convenablement la distance explosive de l'excitateur, on arrive à faire *fonctionner simultanément le tube de Crookes & l'excitateur* : à chaque courant de rupture envoyé par la bobine, le tube de Crookes s'illumine, puis, le potentiel continuant à croître, l'étincelle éclate à l'excitateur, & , presque aussitôt, le tube de Crookes n'étant plus alimenté s'éteint.

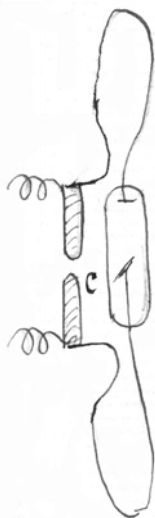


Supposons d'abord que le tube soit tout près de l'excitateur, & que les fils  $AH$ ,  $A'H'$ , qui relient le tube à l'excitateur soient très courts. Portons en abscisses les temps comptés à partir du moment où l'étincelle éclate dans l'huile et en ordonnées les intensités des rayons X : nous avons ainsi une courbe décroissante dès le temps zéro. Traçons maintenant une courbe ayant pour ordonnées les valeurs de la force électrique à la coupure du résonateur; cette courbe part de zéro, puis présente un maximum dont l'abscisse a une certaine valeur, tant parce que l'action subie par le résonateur est due précisément à la disparition de la charge de l'excitateur, que parce que le résonateur lui-même emploie un certain temps à se mettre en marche. Il résulte de cette différence de temps que, lorsque ce maximum a lieu, les rayons X sont

Des pôles d'une bobine d'induction partent deux fils qui aboutissent aux électrodes  $H$  &  $H'$  d'un tube de Crookes horizontal; avant d'arriver à ce tube, ces fils sont reliés respectivement aux deux moitiés  $A$  &  $A'$  d'un excitateur de Hertz, formé de deux cylindres de laiton de  $0^{\text{cm}},8$  de diamètre, & de  $5^{\text{cent}},6$  de longueur chacun, fixés horizontalement dans

un bain d'huile (non représenté). Au dessous du vase qui contient cette huile, est disposé un résonateur formé d'une boucle de fil de cuivre, (que j'ai représenté à côté de l'excitateur, mais dont la partie rectiligne  $BB'$  est en réalité au dessous même de cet excitateur); la coupure  $C$  est tournée du côté du tube de Crookes, & protégée contre toute autre radiation par une lame d'aluminium & des écrans de papier verni. En réglant convenablement la distance explosive de l'excitateur, on arrive à faire *fonctionner simultanément le tube de Crookes & l'excitateur* : à chaque courant de rupture envoyé par la bobine, le tube de Crookes s'illumine, puis, le potentiel continuant à croître, l'étincelle éclate à l'excitateur, & , presque aussitôt, le tube de Crookes n'étant plus alimenté s'éteint.

éteints ou du moins diminués, & que, par suite, ils n'exerceront pas ou n'exerceront que peu d'action sur l'étincelle du résonateur. C'est ce qui a lieu : la variation de l'étincelle par l'interposition d'une lame de plomb est à peine perceptible.



Maintenant, laissant le tube contre l'excitateur, remplaçons les fils courts  $AH$ ,  $A'H'$  par des fils de 33<sup>cent</sup>, repliés sans coude brusque. Cet allongement des fils va déjà avoir pour effet de retarder un peu l'extinction des rayons X. Alors éloignons progressivement le tube du résonateur en redressant les fils : il en résulte que les rayons X vont éprouver un retard croissant, égal au temps qu'ils mettent à franchir la distance du tube à la coupure  $C$ . Si leur vitesse est finie, par ex. comparable à celle de la lumière, l'avance de l'instant où les rayons X disparaissent en  $C$  sur l'instant du maximum de la force électrique en  $C$  diminue d'autant, autrement dit la coïncidence en  $C$  de la force électrique & des rayons X s'améliore, & en conséquence, on peut s'attendre à voir *l'action du tube sur l'étincelle augmenter à mesure que l'on écartera le tube.*

J'ai exécuté cette expérience, je l'avoue, avec très peu de confiance. À ma grande surprise, elle a réussi : *l'action du tube sur l'étincelle augmente bien à mesure qu'on l'éloigne* ; l'effet est certain et facilement visible. Au mois de juin j'avais fait une première série d'expérience ; une seconde à la fin d'octobre, une troisième et une quatrième tout récemment ont invariablement donné le même résultat (l'appareil a été chaque fois entièrement remonté) ; nombre de personnes ont constaté aisément ce fait paradoxal.

Voici maintenant plus de détails. Le tube étant d'abord écarté de manière à tendre à peu près les fils, on voit en  $C$  une étincelle brillante ; si l'on approche peu à peu le tube, l'étincelle devient plus petite & plus pâle : cette diminution s'accroît jusqu'à ce que la distance de l'axe du tube à la coupure soit réduite à environ 9 centimètres, & l'étincelle est alors très pâle. Si l'on continue à approcher le tube, l'étincelle augmente de nouveau : il y a ainsi un *minimum* pour la distance de 9 centimètres. Ce minimum est très net, & avec un réglage soigné de la coupure, on peut le localiser sur une longueur de moins d'un centimètre. Comment maintenant l'expliquer dans l'hypothèse qui m'a conduit à cette expérience ? Ne peut-on pas dire : lorsque l'on rapproche le tube, la coïncidence de temps devient moins bonne entre la force électrique & les rayons X à la coupure, mais d'autre part, l'intensité de leur action a énormément augmenté, & de la superposition de ces deux actions de sens opposés un minimum doit prendre naissance ? Il est même étonnant que l'augmentation de l'intensité des rayons X quand la distance diminue laisse subsister un effet de sens contraire. C'est pourquoi j'ai recherché si la variation de l'étincelle à la coupure était bien dûe aux rayons X : pour cela, j'ai remplacé la lame d'aluminium par une lame de plomb de mêmes dimensions ; tout effet a alors disparu, & *l'éclat de l'étincelle est devenue indépendant de la distance du tube.* J'ai répété très souvent cette

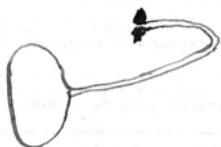
expérience dans des conditions variées.

En remplaçant les fils de 33<sup>cm</sup> par des fils de 50<sup>cm</sup>, puis de 65<sup>cm</sup>, puis de 75<sup>cm</sup>, on obtient encore le minimum ; avec des fils de 110<sup>cm</sup> on le voit encore, mais très faible ; avec de plus grandes longueurs, on ne voit plus rien. Ceci s'explique en considérant que le fil lui-même produit un retard de la cessation des rayons X, retard qui devient suffisant pour que ceux-ci arrivent toujours assez tôt.

J'ai étudié à part l'action des rayons X sur une petite étincelle : deux bobines de Ruhmkorff avaient leurs fils inducteurs sur un même circuit ; l'une des bobines actionnait un tube de Crookes, l'autre, très petite & dont j'avais encore réduit l'action, produisait une étincelle de grandeur comparable à celle des expériences ci-dessus. L'action du tube de Crookes s'est montrée toute pareille comme changement d'aspect des étincelles.

J'ai vérifié aussi par des expériences de transmission d'ondes faites à part que la flexion des fils n'influe pas sur la vitesse de propagation dans les conditions où mes expériences sont faites.

J'ai augmenté la période du résonateur en fixant des plaques de clinquant près de la coupure ; la force électrique à la coupure est retardée, et l'on devrait s'attendre à voir le minimum se produire pour un plus grand éloignement du tube : c'est ce qui est arrivé, la distance étant devenue 14<sup>cent</sup>.



Au lieu de relier directement les deux bouts de la boucle du résonateur à la coupure, j'ai intercalé entre cette boucle & la coupure une petite ligne de transmission formée de deux fils isolés contigus, longs de 27 centimètres : la force électrique devait être retardée, & la position correspondant au minimum devait s'éloigner. Le minimum s'est en effet éloigné d'environ 34 centimètres, longueur qui est assez en rapport avec les 27 centimètres dont on avait allongé le résonateur. Ce résultat est encore assez d'accord avec les prévisions.

J'ai fait l'inverse en me servant d'un résonateur microscopique. Le minimum s'est encore éloigné plus qu'avec le résonateur primitif. Cela ne me paraît pas non plus inconciliable. En résumé, dans toutes ces expériences, on voit l'action du tube de Crookes augmenter en même temps que la distance ; ce fait paradoxal ne semble pouvoir s'expliquer que par une amélioration de la concordance de deux époques, ce qui ne peut avoir lieu que si les rayons X ont une vitesse de propagation comparable à celle des ondes électriques. Cependant, j'hésite encore, craignant qu'à tout cela il n'y ait quelque explication toute différente que je n'aperçois pas. Et puis la persistance possible de l'ionisation est une complication dont je ne tiens pas compte ; peut-être après tout est-elle très faible comme durée & comme intensité. En tous cas, ce phénomène paradoxal est bien singulier, et tient certainement aux rayons X, puisqu'il disparaît par la lame de plomb.

Je serai très heureux si vous vouliez bien consacrer un peu d'attention à examiner tout ceci & me dire ensuite ce que vous en pensez. Si, comme je le crains parfois, je me fourvoie (non dans les expériences, dont je suis sûr), mais dans mes vues théoriques, je ne voudrais pas risquer de m'égarer plus avant, & je viens vous prier de m'en dire très franchement votre avis.



La longueur d'onde de l'excitateur avec les fils & le tube de Crookes est d'environ  $170 \text{ cm}$ .<sup>d</sup>  
 Bien cordialement à vous,

R. Blondlot

P.S. Nos mathématiciens sont émerveillés des Notes récemment publiées par votre neveu ; voilà de belles promesses d'avenir . . .<sup>4</sup>

#### ALS 7p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>François Perreau est un ancien élève de l'École normale supérieure (promotion de 1888).

<sup>2</sup>Voir (Blondlot, 1902a,c), où Blondlot décrit une expérience qui associe de manière originale deux dispositifs qui ont conduit aux deux découvertes fondamentales de ce temps : les rayons X et les rayons hertziens. Il explique comment il peut avoir ainsi une idée de la vitesse des rayons X, en observant les variations d'intensité d'une petite étincelle d'un résonateur provoquée par un excitateur de Hertz. Il soutient que la source de rayons X peut faire varier l'intensité de l'étincelle et il est vrai que l'on peut très bien concevoir que les rayons X peuvent amplifier les phénomènes d'ionisation, cause de l'étincelle. Si ce type d'expérience n'a pas connu d'écho par la suite, on peut en trouver la raison dans la critique que fait Erich Marx en 1919. Ce spécialiste des rayons X, tout en reconnaissant que Blondlot a été le premier à chercher une détermination de la vitesse des rayons X, met en doute la pertinence de l'expérience : "Die Methode enthielt unter anderen Voraussetzung, dass die Beeinflussung des Leuchtens lediglich durch die Röntgenstrahlen und nicht durch elektrische Luftwellen hervorgerufen wurde, keine Trägheit in Hinsicht auf das Leuchten des Funkens zeigte" (1913-1925). En mettant lui-même en œuvre des expériences plus crédibles que celle de Blondlot, Marx arrivera à la même conclusion : la vitesse des rayons X est la même que la vitesse de la lumière.

<sup>3</sup>L'astronome danois Olaus Rømer (1644-1710) mesura la vitesse de la lumière en 1676, à partir de l'observation des éclipses des satellites de Jupiter.

<sup>4</sup>Boutroux (1901, 1902) ; la deuxième note est présentée par Émile Picard le 13.01.1902. Pierre Boutroux (1880-1922) est le fils du philosophe Émile Boutroux et Aline Poincaré (sœur d'Henri). Les mathématiciens de la faculté des sciences de Nancy sont Gaston Floquet (analyse), Jules Molk (mécanique rationnelle), et Henri Vogt (mathématiques appliquées).

## 9.13 Blondlot à Poincaré

Nancy 9 Février 1902

Mon Cher ami,

Je me permets de vous rappeler que Brunhes<sup>1</sup> ne conclut pas à la persistance des rayons X après la cessation du phénomène électrique : il a seulement constaté que, quand on fait passer le courant induit d'une bobine dans un tube de Crookes, le phénomène pris en bloc a une durée voisine de  $1/12500$  de seconde.<sup>2</sup> E. Colardeau a repris et complété cette étude (voir *Bulletin des séances de la société de physique* 1901, 2<sup>e</sup> Fascicule p. 117) ; sa conclusion est "que la durée réelle d'émission des rayons X, produits par la décharge, est bien moindre que ne le feraient croire les expériences réalisées de prime abord. Cette durée serait inférieure à  $1/50000$  de seconde."<sup>3</sup> Ce n'est même là qu'une limite supérieure, car, en fait il a trouvé zéro, c'est-à-dire une durée inappréciable par sa méthode ; en tous cas, de persistance, pas trace.

Je ne crois donc pas que de ce côté on puisse objecter aucune expérience antérieure.

D'autre part, Gutton vient de me rappeler que Perrin ne croit pas non plus à une persistance de l'ionisation, mais pourquoi ? Je crains d'avoir oublié d'indiquer que dans l'expé-

<sup>d</sup>Il s'agit d'une note marginale.



rience où j'ai adapté au résonateur une petite ligne de transmission de 27<sup>cent</sup>, la coupure était placée au même point *C* que dans les autres expériences.

J'ai encore répété aujourd'hui mes premières expériences : toujours & obstinément minimum sans le plomb, & avec le plomb étincelle invariable.

Certainement, je serai à Nancy pendant les vacances de Pâques, & je me réjouis de vous voir.

Aujourd'hui, je vous serre cordialement la main.

Tout à vous,

R. Blondlot

### ALS. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Bernard Brunhes (1877–1910) est un ancien élève de l'École normale supérieure (promotion de 1886), professeur de physique à la faculté des sciences de Clermont-Ferrand, et directeur de l'observatoire du Puy-de-Dôme. Il a rédigé le deuxième tome d'*Électricité et optique* (1890–1891).

<sup>2</sup>Brunhes (1900). A ce sujet, voir les notes de (§ 9.12).

<sup>3</sup>Colardeau (1901, 117). Emmanuel Colardeau est professeur au collège Rollin (Paris), et membre de la société française de physique (*Bulletin des séances de la société française de physique* 1902, 104\*).

## 9.14 Blondlot à Poincaré

Nancy 4 Nov. 1902

Mon Cher ami,

Je vous prie d'abord de n'attribuer qu'un coefficient presque nul à ce que je puis vous dire relativement à la délicate question que vous me posez. Je ne connais pas personnellement M. Carvallo, ne lui ayant parlé qu'une seule fois, il y a longtemps.<sup>1</sup> Quelques lettres ont été échangées entre lui & moi l'hiver dernier ; de cette correspondance il m'est resté l'impression de quelqu'un ayant grande confiance en soi-même & le ton pas mal tranchant. Je crois que c'est assez le sentiment général sur son compte. Il est telle préface des livres élémentaires qu'il a publiés qui pourrait le faire passer aux yeux des écoliers pour un inventeur en Mécanique.<sup>2</sup> Il ne sera certainement pas arrêté par les mêmes scrupules qui ont conduit M. Vieille ... à renoncer à la succession de Cornu.<sup>3</sup>

Quant à ses travaux de physique, je n'en connais que le titre, n'ayant pas eu l'occasion de m'occuper des sujets qu'il a travaillés.

Que M. Carvallo soit en état de faire un cours de Physique à l'École Polytechnique, cela ne semble pas douteux. Seulement, ce cours aurait-il bien le caractère désirable, qui doit être, à ce qu'il me semble, plutôt descriptif ? N'aurait-il pas des tendances trop théoriques ? Au lieu d'enseigner Fresnel, Ampère, Faraday, n'enseignerait-il pas du Carvallo ? Il serait, je crois, fâcheux d'introduire dans l'Enseignement de l'École "*l'Électricité déduite de l'Expérience & ramenée au principe des travaux virtuels*".<sup>4</sup> Mais peut-être que je me lance dans des jugements téméraires.

J'ai continué mes expériences sur les rayons X. Celles de l'allongement des fils, que vous m'avez conseillées de faire, réussissent très bien, contrairement à mon attente, mieux même que celles de l'allongement du résonateur. En présence de cet ensemble de faits singuliers & variés autant que je l'ai pu, qui tous s'expliquent si bien par l'égalité des

vitesse et semblent inexplicables autrement, le doute me paraît impossible. C'est pourquoi, après avoir refait plusieurs fois toutes les expériences, après les avoir fait répéter par mon aide de laboratoire, puis par un étudiant, très habile observateur, mais non initié à l'objet de mes recherches (le jeune P. Gaiffe, fils de l'opticien que vous avez sans doute connu rue Stanislas, et cousin du constructeur Parisien), je me suis décidé à publier.<sup>5</sup> Je serais heureux que l'on voulût bien me suggérer des variantes ou des contre-épreuves, que je m'empresserais d'exécuter.

Croyez à mes sentiments de fidèle amitié et de dévouement.

R. Blondlot

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Emmanuel Carvallo est candidat à la chaire de physique à l'École polytechnique ; H. Becquerel et A. Potier s'opposent à sa nomination (voir § 4.9, ainsi que § 14.1).

<sup>2</sup>La préface de Carvallo (1902a) correspond à la description de Blondlot.

<sup>3</sup>Paul Vieille (1854–1934) fait partie de la promotion de Poincaré à l'École polytechnique, et est membre de l'Académie des sciences, section de mécanique (Académie des sciences, 1968, 553, et Registre des matricules, Archives de l'École polytechnique).

<sup>4</sup>Carvallo (1902a).

<sup>5</sup>Blondlot (1902d,b).

## 9.15 Blondlot à Poincaré

Nancy 7 Janvier 1903

Mon Cher ami,

Je vous écris à la hâte pour vous faire part d'expériences que je viens de faire, & qui, je ne puis en douter, prouvent la polarisation des rayons X.<sup>1</sup> Au lieu de chercher, comme on l'a fait en vain, à polariser les rayons X émis par un tube, je me suis demandé s'ils ne seraient pas déjà tout polarisés à leur émission.

Le genre de symétrie de l'appareil qui les produit permet cette conjecture, car si nous considérons un rayon X et le rayon cathodique qui lui donne naissance, ces deux rayons déterminent un plan. Dès lors, aucune raison géométrique n'empêche de se demander si le rayon X ne serait pas polarisé parallèlement ou normalement à ce plan.

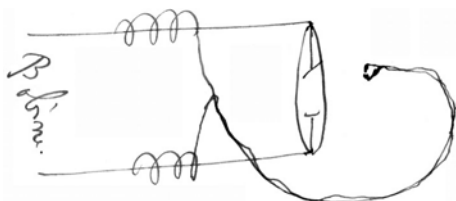
Mais, en supposant cette polarisation, comment la reconnaître ? De quel analyseur se servir ?

J'ai songé à l'action renforçante des rayons sur une petite étincelle. L'étincelle est à elle-même un axe de symétrie et les directions normales à celle-là peuvent avoir des propriétés différentes de celles de l'axe.<sup>2</sup>

D'après cela, l'étincelle ne pourrait-elle être plus ou moins renforcée suivant qu'elle serait parallèle ou normale au plan mené par le rayon X et le rayon cathodique ? C'est ce que j'ai essayé : j'ai soumis une petite étincelle à l'action d'un tube focus en disposant la longueur de l'étincelle tantôt parallèlement à la longueur du tube et tantôt normalement à cette longueur. Dans le cas où l'étincelle est parallèle, il y a action, car si l'on interpose une lame de verre, l'étincelle diminue d'éclat. Le phénomène est *d'une netteté absolue, absolument constant et facile à observer.*

Si au contraire l'étincelle est normale, l'action est *absolument nulle*, et le verre ne *change rien*.

J'ai encore fait l'expérience suivante, qui est une variante : le petit excitateur où jailli l'étincelle est monté sur une sorte de bonnette qui permet de le faire passer instantanément de la position parallèle à la position normale : on voit alors l'étincelle diminuer d'éclat quand on tourne l'excitateur de la première position à la seconde et inversement. L'expérience est *absolument frappante*, même pour les laïcs. (Le phénomène ne change pas quand on fait tourner le tube autour de la *longueur*, jusqu'à ce que l'anticathode se présente par sa tranche, ce qui montre que l'orientation de cette anticathode n'est pour rien dans le phénomène, & que le plan qui le détermine est bien celui du rayon X et du rayon cathodique.)



Pour produire la petite étincelle, j'emploie simplement l'influence électrostatique obtenue par le dispositif ci-contre. L'étincelle est à environ 21 centimètres du tube, et je me suis assuré qu'il n'y a pas d'influence directe sensible sur elle.

Autre chose : Je me suis demandé alors si en prenant de la *lumière ultraviolette* polarisée, son action sur l'étincelle ne dépendrait pas de la position de son plan de polarisation par rapport à la longueur de l'étincelle. J'ai alors remplacé le tube par un excitateur à boules d'aluminium, en interposant un Foucault entre cette source et l'étincelle.<sup>3</sup> J'ai constaté, avec une *netteté absolue* qu'il y a renforcement de l'étincelle par la lumière quand la section principale du Foucault est parallèle à l'étincelle réceptrice, et aucun effet quand la section principale est normale à cette étincelle : dans le premier cas, l'interposition d'un verre diminue l'éclat, dans le second cas, elle est sans effet. Ainsi, la petite étincelle est un réactif pour les vibrations polarisées. Il me semble que, d'après cela, il ne peut rester de doute sur la nature des rayons X.

Il me semble aussi que cela jette un jour sur la célèbre question : la vibration de la lumière polarisée est-elle parallèle ou normale au plan de polarisation ?

En effet, le mouvement sur le rayon X, provenant du mouvement longitudinal du rayon cathodique générateur, ne peut être que dans le plan de ces deux rayons.

Or l'action sur l'étincelle montre que ce plan doit être assimilé à la section principale du Foucault. Dans le Foucault, c'est le rayon extraordinaire qui passe, et, d'après Fresnel, il vibre dans la section principale. Donc l'hypothèse de Fresnel est d'accord avec l'observation.

Je vous prie, mon cher ami, de vouloir bien examiner tout ceci et de me dire ce que vous en pensez.

Fidèlement à vous,

R. Blondlot

<sup>1</sup>Sans connaître l'origine exacte des processus d'ionisation, Blondlot (1903b; 1903a) s'appuie sur des considérations de symétrie pour supposer que l'intensité de l'étincelle est sensible à l'orientation relative de la direction de son axe par rapport au plan de polarisation. Il vérifie cette hypothèse en utilisant de la lumière ultra-violette.

<sup>2</sup>Ascoli (1904) signale que Blondlot a été fortement influencé par les travaux de Pierre Curie sur les effets liés aux symétries. Il cite ainsi un des principes de Curie : "Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui leur ont donné naissance" (Curie, 1894). A propos du principe de Curie, voir Katzir (2004).

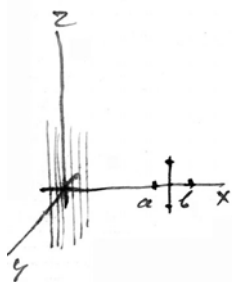
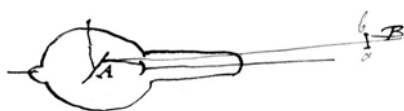
<sup>3</sup>Le Foucault est un dispositif optique constitué de deux prismes accolés. Ils sont taillés dans un cristal uniaxe et disposés de telle façon que le rayon "ordinaire" est réfléchi et le rayon "extraordinaire" est transmis par la paroi de séparation (qui est dans ce cas une couche d'air).

## 9.16 Blondlot à Poincaré

Nancy 26 Janvier 1903

Mon Cher ami,

Les résultats que je vous ai annoncés concernant la polarisation des rayons X ont été confirmés de tous points par la répétition des expériences.<sup>1</sup>

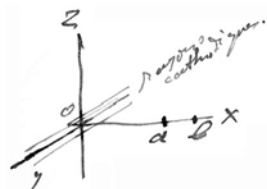


J'ai alors cherché, comme vous me le suggérez, s'il y a action quand la petite étincelle est orientée parallèlement aux rayons X, et j'ai trouvé qu'une telle action n'existe pas.<sup>2</sup> Le tube étant disposé horizontalement suivant  $Oy$ , les rayons cathodiques orientés par conséquent suivant  $Oy$ ,\* et l'étincelle étant placée en  $ab$  suivant l'axe des  $x$ , l'action est nulle; si l'on fait tourner  $ab$  dans le plan  $xOz$  autour d'un axe parallèle à  $Oy$ , de façon à le rendre parallèle à  $Oz$ , l'action reste nulle dans cette rotation : l'éclat est faible et invariable. Maintenant, plaçons le tube de façon que, l'anticathode étant vers l'origine, les rayons cathodiques soient orientés parallèlement à l'axe  $Oz$ . L'étincelle  $ab$  étant d'abord dirigée suivant l'axe des  $z$ , on n'a pas d'action, mais si l'on rend cette étincelle verticale, l'action augmente pendant cette rotation et l'étincelle devient maximum lorsqu'elle est parallèle à  $Oz$  ou aux rayons cathodiques.

Afin de réaliser ces expériences, il a été nécessaire d'altérer un peu l'orientation de l'étincelle dans le cas où elle aurait dû coïncider avec les rayons X, car, sans cela, les rayons n'auraient pu atteindre la coupure à cause de l'ombre de l'une des pointes entre lesquelles elle éclate. Cette petite altération dans l'orientation n'eût pu qu'être favorable à la production d'un effet; malgré cela, il n'y en a aucun.

La vibration est donc bien transversale; la polarisation semble d'ailleurs complète puisque l'action est nulle quand l'étincelle est normale aux rayons cathodiques : l'interposition

d'un plomb ne diminue en rien l'étincelle.



Voici une autre expérience : un rayon X et le rayon cathodique qui l'a engendré ne déterminent un plan que s'ils sont distincts l'un de l'autre. Or il y a des rayons X dont la direction est la même, ou à peu près, que celle des rayons cathodiques générateurs : ce sont ceux qui reviennent de l'anticathode vers la cathode. Il y en a qui, comme *AB*, sortent du tube en rasant la cathode et qui coïncident presque en direction avec les rayons cathodiques générateurs. On doit donc s'attendre à les trouver non polarisés ou très peu polarisés.

J'ai en effet reconnu qu'ils ne sont pas polarisés ; ils agissent toutefois sur l'étincelle, mais faiblement et cette action ne dépend pas de l'azimut de l'étincelle par rapport au rayon *AB*.

Enfin, j'ai étudié les rayons S ; l'appareil était déjà prêt quand j'ai reçu votre lettre.<sup>3</sup>

Les rayons S sont entièrement polarisés, et leur plan d'action est le plan qui passe par les rayons X générateurs et les rayons S. La loi est la même que pour les rayons X. Elle est continue sans doute pour les rayons T, & ainsi de suite. C'est ce que je veux essayer dès demain. Le plan d'action des rayons S est toujours celui du rayon S et du rayon X générateur, quelque soit l'azimut de la polarisation des rayons X : il reste le même si l'on fait tourner le tube autour du rayon X incident comme axe.

Quand à l'action de la lumière ultraviolette polarisée sur l'étincelle, je suis obligé de faire toutes réserves. Les expériences sont rendues difficiles et même incertaines par la présence de la lumière même ; on ne parvient à s'en débarrasser qu'imparfaitement en observant la petite étincelle avec un Nicol éteignant ces rayons pour l'œil.<sup>4</sup>

Ces expériences doivent être refaites. Je m'y mettrai incessamment. Seulement je suis souffrant pour le moment et fatigué, et je suis loin de pouvoir travailler comme je le voudrais et comme il le faudrait pour mener à bien l'étude de ces curieux phénomènes.

Cordialement à vous,

R. Blondlot

\* l'anticathode vers l'origine

#### ALS 7p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Voir la lettre précédente de Blondlot (§9.15).

<sup>2</sup> La lettre de Poincaré nous manque.

<sup>3</sup> Georges Sagnac (1898) s'est intéressé aux rayons S (ou secondaires), ou ce que Blondlot (1903b) appelle des rayons  $\delta$ . Ils sont émis par un corps quelconque frappé par les rayons X et seraient constitués d'un "mélange" de rayons cathodiques (des électrons) et de rayons X émis par la substance frappée par les rayons X primaires. La polarisation constatée par Blondlot ne peut concerner que les rayons X secondairement émis. La situation serait de même nature pour les rayons T (tertiaires) issus d'une surface frappée par les rayons S et qui seraient surtout formés de rayons X mous.

<sup>4</sup> Le Nicol est un polariseur, construit sur le même modèle que le Foucault (voir §9.15, note 3). La différence réside dans la couche de séparation des deux prismes qui est ici constituée par du baume de Canada dont l'indice est élevé.

## 9.17 Blondlot à Poincaré

Nancy 16 Janvier 1903

Mon Cher ami,

Permettez moi de vous adresser mes bien cordiales félicitations pour votre promotion dans la Légion d'Honneur, que je ne connaissais pas hier.<sup>1</sup>

Vous n'êtes pas de ceux, il y en a, à qui ces distinctions ajoutent quelque chose, mais le public mesure choses et gens avec les unités qui sont à sa portée, & l'homme le plus sage ne peut être indifférent à ce qui contribue à lui assurer aux yeux des incompetents le rang qu'il doit occuper.

J'ai vérifié que le plan d'action des rayons S est bien *dans tous les cas* celui du rayon S et du rayon X générateur : Cela est vrai quelle que soit l'orientation de la plaque de zinc qui opère la transformation; les expériences sont très aisées et très précises.

Je viens, cette après-midi, de constater que le quartz fait tourner le plan de polarisation des rayons X dans le même sens que celui de la lumière : avec des quartz droit et gauche, j'ai obtenu des rotations respectivement droites et gauches de 30 degrés environ.

Je me demande même si ces 30 degrés ne seraient pas la partie fractionnaire d'un nombre de circonférences plus grand que l'unité. Si les rayons X sont de la lumière de très petite longueur d'onde, et si la loi  $1/\lambda^2$  est tant soit peu vraie, la rotation serait très grande.<sup>2</sup> Sa mesure pourrait servir à calculer la longueur d'onde. En tous cas les rotations que j'ai observées, 30°, sont plus petites que pour la lumière pour les mêmes quartz, à moins que je ne me trompe d'un nombre entier de circonférences. Il faudrait avoir des quartz plus minces, qui alors pourraient sembler faire tourner davantage.

Ces expériences ne donnent aucune peine; elles sont très amusantes. Jamais je n'ai eu tant de plaisir.

Fidèlement à vous,

R. Blondlot

**ALS 4p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré est promu Commandeur de la Légion d'honneur le 14.01.1903 (Rollet2001, 356).

<sup>2</sup>En première approximation la dispersion rotatoire (rotation du plan de polarisation en fonction de la longueur d'onde) est proportionnelle à  $1/\lambda^2$ .

## 9.18 Blondlot à Poincaré

Nancy, Février 1903

Mon Cher ami,

Au début de mes expériences sur la polarisation des rayons S, j'employais, afin d'obtenir des rayons intenses, de larges plaques de zinc, placées aussi près du tube que je pouvais le faire tout en préservant l'étincelle contre les rayons X par une lame de plomb. Par ce moyen, j'obtenais en effet des rayons S intenses; seulement, les rayons X tombant sur la plaque étaient loin d'être parallèles, & il en résultait une complication qui nuisait à la netteté des phénomènes jusqu'à les rendre ambigus. Cela a été cause que je n'ai pas

reconnu d'abord la véritable loi qui régit l'orientation des rayons S. Celle que je vous avait communiquée après mes premiers essais, le premier jour même et trop hâtivement, ne coïncide avec la vraie loi que dans des cas particuliers.

Depuis j'ai employé des plaques de zinc très petites : un carré ayant 5 centimètres de côté, & j'ai placé le tube plus loin, à 12 ou 15 centimètres. Les phénomènes sont alors devenus parfaitement nets, & l'étude d'un certain nombre de positions particulières, jointe à des considérations évidentes, m'a conduit à la règle suivante : soit un rayon X rencontrant en *A* une plaque de zinc, et l'un quelconque des rayons S issu de *A*. Par *A* menons dans le plan du rayon X et du rayon cathodique générateur (plan d'action du rayon X) la normale au rayon X : le plan de cette normale et du rayon S est le plan d'action du rayon S.

Cette règle se vérifie dans tous les cas que j'ai étudiés. Parmi eux, il en est un qui offre un intérêt spécial, c'est celui où le rayon S coïncide avec la normale menée au rayon X dans le plan d'action de ce rayon X : dans ce cas la règle ci-dessus ne donne plus un plan déterminé ; l'expérience montre qu'en effet le rayon n'est pas polarisé. Son intensité n'est toutefois pas nulle, car l'interposition d'un verre diminue notablement l'étincelle : Cela pourrait tenir, ou bien à ce que les rayons X générateurs ne sont qu'incomplètement polarisés (ce que je pourrais contrôler)\*, ou bien à des rayons S déviables.<sup>e</sup>

L'orientation de la plaque de zinc n'entre pour rien dans celle de la polarisation des rayons S : la règle ci-dessus en est indépendante, & j'ai vérifié surabondamment cette indépendance. Cela doit tenir à ce que les phénomènes auxquels sont dûs les radiations X & S sont d'une grande finesse et que pour eux, ce que nous appelons surface n'existe pas : la surface d'une pierre de taille est plane pour notre œil mais le *ciron* de La Fontaine s'y promène par monts & par vaux.<sup>1</sup>

La règle ci-dessus indique, ce me semble, que la déviation des vibrations des rayons X se conserve le plus possible dans les rayons S.

Pas plus dans les rayons S que dans les rayons X l'étincelle n'indique de composante vibratoire longitudinale, même dans la cas où les rayons S ne présentent pas de polarisation, & où cependant leur intensité n'est pas nulle.

L'expérience que vous me suggérez donne un résultat négatif, ou du moins inappréciable ; Sagnac l'avait déjà faite en employant la décharge d'un corps électrisé : il pensait atteindre par ce moyen la polarisation des rayons X.<sup>2</sup> Il n'a rien vu dans ses expériences, qu'il estime exactes à 1/5 près ; "il est bien possible, m'écrivit-il, que mon expérience doive réussir quand la précision augmente." Peut-être le phénomène est-il masqué par les rayons déviables, qui compenseraient le défaut des autres.

Voici de nouveaux faits qui me semblent présenter un très grand intérêt.

Bien que l'absence de réfraction rendit le fait invraisemblable, j'ai eu l'audace d'essayer si une pile de micas de Reusch ferait tourner le plan de polarisation des rayons X ; l'expérience, à mon grand étonnement réussit parfaitement : une pile de 7 micas 1/4 d'onde, laquelle fait tourner le jaune moyen de 172 degrés, fait tourner le plan de polarisation des rayons X d'environ 25 ou 30 degrés, dans le même sens que celui de la lumière.<sup>3</sup> (La rotation des rayons S est au contraire presque nulle.)<sup>4</sup>

Partant de là, je me suis demandé si une lame unique de mica, orientée de façon que

<sup>e</sup>Le manuscrit porte un point d'interrogation en marge de main inconnue.

son axe optique fit avec le plan de polarisation des rayons X un angle de 45 degrés ne dépolariserait pas ces rayons : j'ai constaté que cette dépolarisation se produit de façon la plus frappante, tellement qu'on la croirait complète.

Voici l'expérience : le plan d'action des rayons X étant horizontal, on interpose un mica, d'abord de façon que son axe soit horizontal (ou vertical) : la polarisation demeure complète, car la petite étincelle est beaucoup plus brillante quand elle est horizontale et présente un minimum quand elle est verticale. Si alors on fait tourner le mica de façon que son axe fasse un angle de 45 degrés avec l'horizontale, l'éclat de l'étincelle demeure invariable quelle que soit son orientation.

L'expérience réussit avec un quartz parallèle à l'axe, avec un spath parallèle à l'axe. Elle réussit quelle que soit l'épaisseur de la lame : ceci s'explique, je crois, si l'on admet que le faisceau de rayons X est formé de radiations de longueurs d'ondes très courtes et variables d'une radiation à l'autre.

Cette polarisation par les milieux biréfringents implique l'existence de la double réfraction des rayons X, et même de leur dispersion. Seulement les indices peuvent être très voisins de l'unité.<sup>5</sup>

J'attends impatiemment votre opinion sur tout cela. Tous ces faits sont aisément observables, à condition que l'étincelle soit *bien réglée* : il y a un réglage qui donne un maximum de sensibilité, & que l'on trouve sans grande difficulté par tâtonnement.

Le dernier article de Pender dans le *philosophical Magazine* me fait penser que Jonathan triomphera d'Israël, même en se servant de ses propres armes, je veux dire de sa propre méthode : le "close agreement between the observed and calculated effect" me paraît décisif.<sup>6</sup>

Croyez à mes sentiments bien affectueux et dévoués,  
R. Blondlot

\* Je viens de reconnaître que les rayons X sont entièrement polarisés, au moins au degré d'exactitude de mes expériences : lorsque, en effet, l'étincelle est normale au plan d'action des rayons X, l'action de ceux-ci est nulle.

#### ALS 8p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Jean de La Fontaine (1621–1695), auteur de "La Besace", une fable dans laquelle

Dame fourmi trouva le ciron trop petit  
Se croyant, pour elle, un colosse.

<sup>2</sup>Sagnac (1896).

<sup>3</sup>Friedrich Eduard von Reusch (1812–1891) fut professeur de physique à la faculté des sciences de Tübingen.

<sup>4</sup>Il s'agit d'un empilement de lames de mica. La section principale de chaque lame fait un angle de 60° par rapport à la précédente et une lumière incidente polarisée rectilignement devient une vibration elliptique.

<sup>5</sup>Les théories de la dispersion (variation de l'indice en fonction de la longueur d'onde) montrent que pour les rayons X l'indice est effectivement voisin de 1, mais plus petit que 1 ; si bien qu'un rayon X peut être dévié par un prisme mais dans le sens inverse de celui qui est prévu par les lois de la réfraction appliquée au rayon lumineux.

<sup>6</sup>Pender (1901a); Pender et Crémieu (1903a). Blondlot fait ici allusion à la polémique qui oppose Victor Crémieu (§ 17) et Harold Pender (§ 45) à propos de l'effet de Rowland.



## 9.19 Blondlot à Poincaré

Nancy Mars 1903

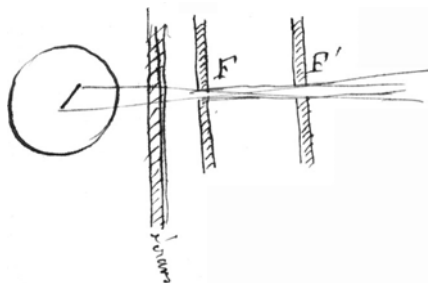
Mon Cher ami,

Je vais d'abord répondre de mon mieux aux questions que vous m'avez posées.<sup>1</sup>

Les rayons émis par un tube focus sont de moins en moins polarisés à mesure que l'angle qu'ils font avec les rayons cathodiques diminue. Même ceux qui sont émis perpendiculairement aux rayons cathodiques ne sont pas entièrement polarisés, comme je l'ai reconnu récemment par des expériences plus raffinées que les premières.

Les rayons émis par un tube sont plus faibles dans les directions obliques aux rayons cathodiques que dans la direction perpendiculaire.

Ce que j'appelais dépolarisation est en fait de la *polarisation elliptique*, comme le prouve l'expérience suivante : sur le trajet des rayons émis par le tube, interposons un mica orienté à 45 degrés par rapport au plan d'action : on constate que la polarisation rectiligne a disparu ; interposons maintenant un second mica, identique au premier (découpé dans la même feuille), mais croisé par rapport à lui : la polarisation rectiligne reparait. Au lieu d'un second mica, on peut employer un compensateur de Babinet en quartz.



La petite étincelle (horizontale dans le dessin) est placée en  $e$ , à un centimètre environ en dehors du faisceau, de façon à ne pouvoir être atteinte, même par la pénombre (l'interposition d'une lame de plomb ne la modifie pas). Maintenant, si l'on interpose un prisme, l'arête en haut, l'étincelle devient beaucoup plus brillante, & inversement, si l'on enlève le prisme.



Voici maintenant des expériences entièrement nouvelles : L'existence de la polarisation elliptique entraîne celle de la double réfraction ; j'ai alors eu la témérité d'essayer la réfraction simple, à l'aide d'un prisme équilatéral en quartz. Cette réfraction existe, & le phénomène est *très gros* & aisé à obtenir : un tube envoie à travers des écrans en aluminium, en bois, etc., un faisceau de rayons limité par deux fentes  $F$  &  $F'$  pratiquées dans une lame de plomb.

C'est bien une réfraction et non des rayons secondaires, car si l'on retourne le prisme, ou si on le remplace par une lame à faces parallèles, on n'obtient rien. On peut aussi faire tomber d'abord le faisceau en plein sur l'étincelle, puis le dévier à l'aide du prisme : on retrouve alors avec l'étincelle ce faisceau dévié vers la base du prisme, comme dans le cas de la lumière.

D'après cela, j'ai tout de suite essayé de concentrer les rayons par une lentille de quartz. L'expérience réussit parfaitement : on obtient un foyer extrêmement bien défini dans tous

les sens, & dans lequel l'étincelle a une intensité très grande.

J'ai montré ces phénomènes à Haller, qui les a vu aisément, & qui vous en a peut-être parlé.<sup>2</sup>



La réflexion *régulière* existe : je l'ai vérifié avec une très grande exactitude. Un foyer donne dans une lame de verre bien polie une image virtuelle qui est elle-même un foyer très petit et placé symétriquement. J'ai répété avec succès l'expérience des deux miroirs paraboliques conjugués. Bien que les radiations traversent en partie les miroirs, l'effet est très net. Depuis quinze jours que j'ai observé pour la première fois la réfraction, j'ai varié ces expériences de mille manières.

De tout ce qui précède, il résulte que les *rayons que j'étudie ainsi ne sont pas les rayons de Röntgen* : la petite étincelle révèle une *nouvelle espèce de radiations* émises par le tube. Ces radiations traversent l'aluminium, le bois etc. ; ils sont polarisés à leur émission même, se réfléchissent, se réfractent, ne produisent ni fluorescence ni action photographique, mais agissent sur la petite étincelle.<sup>3</sup>



Les distances d'une lentille de quartz à l'anticathode & à son image donneraient un indice voisin de 2,1, mais qui semble croître et décroître un peu en même temps que la distance focale principale de la lentille employée. Le prisme semble indiquer un indice moindre, ce qui ne serait peut-être pas contradictoire s'il y a un spectre de ces rayons. Dans les expériences avec une lentille, on trouve que l'étincelle devient très brillante non seulement aux foyers, mais aussi *derrière* la lentille, tout près de celle-ci. Ceci semble indiquer des rayons extrêmement réfrangibles.

En résumé, ces nouveaux rayons, que j'appelle provisoirement rayons N, du nom de la ville de Nancy, ressemblent tout à fait à la lumière, à part la propriété de traverser l'aluminium, le bois etc., comme les rayons Röntgen. N'y en aurait-il pas dans le spectre solaire ? Ne seraient-ils pas un prolongement de ce spectre ?

Le bois agit sur eux comme un corps biréfringent, ce qui semblerait indiquer une grande longueur d'onde, puisque ce qui rend le bois symétrique tient à une structure relativement grossière.

Des questions se présentent en nombre infini.

J'espère que l'on me pardonnera de m'être trompé en croyant étudier les rayons Röntgen, auxquels j'attribuais les propriétés qui appartiennent en réalité aux nouveaux rayons. Il était impossible de soupçonner cette erreur avant d'avoir rencontré la contradiction relative à la réfraction. Les chimistes ont souvent fait des fautes de ce genre quand ils se sont trouvés en présence de métaux nouveaux. Je ne sais pas encore si mes expériences sur la vitesse de propagation s'appliquent aussi aux rayons de Röntgen ; en tous cas elles s'appliquent certainement aux rayons N. Comme les rayons Röntgen agissent aussi sur l'étincelle, mais sans polarisation, je pourrai, en répétant mes expériences, savoir si elles s'appliquent à ces rayons ; d'avance je ne le pense pas, d'après ma toute première expérience ; & alors cela indiquerait que les rayons de Röntgen ont une vitesse beaucoup plus

grande que celle de la lumière.

L'insuccès de l'expérience que vous proposiez s'explique maintenant, puisque les rayons sur lesquels j'opère ne sont pas ceux qui produisent la fluorescence & l'action photographique ; les rayons Röntgen, qui eux produisent ces effets, sont sans doute tout autre chose (ils ne sont pas polarisés) : ils semblent rester encore tout aussi mystérieux.<sup>f</sup>

Excusez, je vous prie, cette lettre si longue, si décousue, si mal écrite, & croyez à mes sentiments tout dévoués.

R. Blondlot

#### ALS 8p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>La lettre de Poincaré à Blondlot n'a pas été retrouvée.

<sup>2</sup>Albin Haller (1849–1925) est professeur de chimie organique à la Sorbonne, et membre de la section de chimie à l'Académie des sciences. Son épouse Lucie Comon est une cousine de Poincaré du côté de sa mère.

<sup>3</sup>La "découverte" des rayons N fait l'objet d'une communication (1903d) à l'Académie des sciences le 23.03.1903.

## 9.20 Blondlot à Poincaré

Nancy le 23 Décembre 1903

Mon Cher ami,

Je suis bien heureux que vous ayez assez bonne opinion de mes travaux pour ne pas repousser d'avance & à priori l'idée qu'ils pourraient mériter une si haute récompense.<sup>1</sup>

Une telle confiance dans mes recherches n'est pas, je le crains, partagée par le monde savant, & je vois bien que vous avez la même crainte que moi. Plusieurs ont essayé de répéter mes expériences, & j'ai bien appris que quelques uns ont échoué (Rubens ... entr'autres) mais je n'ai pas su qu'aucun ait réussi.<sup>2</sup>

Je ne croyais pas que ce fut si difficile, car tous ceux à qui je les ai montrées les ont vues, au moins partiellement.

Il y a même un comble : celui qui les voyait le moins était Charpentier, et le voici qui s'y est si bien mis qu'il y fait des découvertes.<sup>3</sup>

La situation où je me trouve est pénible : d'une part, les résultats que j'ai obtenus sont absolument sûrs et je les crois d'un haut intérêt, et, d'autre part, je flaire de toutes parts un scepticisme poli, qui n'ose pas trop s'affirmer, mais qui s'enhardira sans doute. C'est ainsi, par exemple que, dans la séance du 27 Novembre de la société allemande de physique, O. Lummer, après avoir signalé les phénomènes subjectifs qui se produisent dans l'examen d'objets faiblement éclairés, termine ainsi : "Sobald die von H. Blondlot beobachteten Phänomene auch durch objektive Meßinstrumente einwandfrei nachgewiesen sein werden, ist natürlich die hier gegeben Darlegung nur noch von sekundärer Bedeutung für die n-Strahlen".<sup>4</sup>

Voici ce qui a amené cette situation : absolument certain et maître du procédé subjectif d'investigation par l'œil, je m'en suis servi pour aller plus avant, séduit à tout bout de champ par de nouvelles surprises, & je ne me suis point préoccupé de rechercher des

<sup>f</sup>La remarque entre parenthèses est un rajout.

méthodes objectives. Le moment semble venu d'y songer & de faire une halte. J'ai déjà donné dans la séance du 11 mai de l'Académie (p. 1120, t. CXXXVI) un exemple qui ne semble pas avoir arrêté l'attention : l'expérience consiste à impressionner une plaque photographique par la petite source lumineuse qui sert d'analyseur, en faisant deux expériences de même durée : dans l'une d'elles des rayons  $n$  tombent sur l'analyseur, dans l'autre on les intercepte.<sup>5</sup> La petite étincelle est très appropriée à servir de source analyseur dans ces expériences, parce qu'elle est très actinique et qu'on peut la maintenir constante : circonstances qui ne se rencontrent pas avec la phosphorescence.

Toujours la petite étincelle a donné une impulsion plus forte quand elle recevait les rayons  $n$ . Je joins à cette lettre la photogravure accompagnant ma Note du 11 mai. J'ai répété souvent des expériences analogues, et elles n'ont jamais manqué (j'ai les clichés). Je m'occupe de les perfectionner & de les appliquer aux diverses sources de rayons  $n$  : larmes bataviques, acier, corps comprimés & insolés etc.<sup>6</sup> Je ne vois pas ce que l'on pourrait objecter à ces expériences, à part la difficulté de les exécuter, difficulté que j'ai l'espoir de réduire considérablement à l'aide d'un appareil automatique, éliminant les variations spontanées de l'étincelle par un croisement continu des expériences.

D'autres expériences restent et resteront, je crois, subjectives : telles la détermination des foyers des lentilles, l'étude de la dispersion par les prismes, celle des longueurs d'onde.

L'étude de la dispersion a été faite à l'aide de deux prismes en aluminium, l'un de  $27^{\circ}15'$ , l'autre de  $60^{\circ}$ . Les indices obtenus avec ces deux prismes sont bien égaux, chacun à chacun ; ils concordent aussi avec ceux qui donnent les distances focales d'une lentille plan convexe en aluminium de  $6^{\text{cm}},63$  de rayon.

Indices : 1,04 | 1,20 | 1,29 | 1,36 | 1,40 | 1,48 | 1,68 | 1,85 ...

Un faisceau délié de rayons  $n$  tombe sur un prisme d'aluminium qui le disperse ; la longueur d'onde de chacun des faisceaux homogènes est alors déterminée par la méthode des réseaux. (On mesurait l'écart angulaire de 10 franges, ou de 20.) Voici quelques uns des résultats :<sup>7</sup>

*Indice 1,04*

		longueur d'onde
Avec un réseau au	$\frac{1}{200}$ millimètre	$0^{\mu}, 00813$
	$\frac{1}{100}$	$0^{\mu}, 00795$
	$\frac{1}{50}$	$0^{\mu}, 0083$

Une méthode d'anneaux de Newton (moins précise que celle des réseaux), a donné  $0^{\mu}, 00853$ .

*Indice 1,20*

avec le réseau au	$\frac{1}{200}$ millim.	$0^{\mu}, 00932$
	$\frac{1}{100}$	$0^{\mu}, 0102$
	$\frac{1}{50}$	$0^{\mu}, 0106$

*Indice 1,85*

avec le réseau au	$\frac{1}{200}$ millim.	$0^{\mu}, 0176$
	$\frac{1}{100}$	$0^{\mu}, 0171$
	$\frac{1}{50}$	$0^{\mu}, 0184$

la méthode des anneaux a donné  $0^{\mu}, 017$ .

La précision de ces mesures n'est pas bien grande peut-être, comparée à ce que l'on peut faire avec la lumière, mais la concordance des nombres obtenus à l'aide des trois réseaux et aussi par la méthode des anneaux garantit que l'on est bien dans la vérité. Toutes ces mesures ont été répétées un *très grand nombre* de fois et les résultats ont toujours été *concordants*. M. Sagnac pourra méditer sur les dangers de la précipitation. ...<sup>8</sup>

Tout ce qui précède est prêt à être publié. Tout récemment j'ai reconnu l'existence de rayons *n*, *très peu réfrangibles* par l'aluminium, et *diminuant* la phosphorescence au lieu de l'augmenter.

Pour que vous puissiez juger vous-même de la visibilité et de la *répétabilité* de quelques unes des expériences sur les rayons *n*, je vous ai expédié hier soir un cadran phosphorescent et une larve batavique. Voici ce que vous pourrez en faire : le cadran ayant été exposé à la lumière du jour, puis placé dans un local absolument obscur, en le regardant à une distance convenable (un mètre environ), vous ne verrez plus que très vaguement les chiffres et les trous du cadran. Approchant alors la larve batavique, vous verrez, je l'espère, l'éclat du cadran augmenter et les chiffres et trous redevenir plus nets. Même expérience en remplaçant la larve batavique par un couteau, [ou même en serrant fortement le poing près du cadran (Charpentier)].<sup>9</sup>

Je vous enverrai sous peu des positifs, que nous sommes en train de tirer, des clichés dont je vous ai parlé plus haut.

M. Mascart a dit à M. Bichat qu'il avait l'intention de venir prochainement voir mes expériences.<sup>10</sup> Je suis curieux de savoir ce qu'il en pensera.

Voici maintenant mon meû culpâ :

1° J'ai confondu au début les rayons *n* avec les rayons *X* ;

2° J'ai émis à tort l'opinion que les rayons *n* pourraient être voisins des rayons, à très grandes longueurs d'onde, de Rubens ;

3° J'ai cru que le sel gemme était opaque, tandis qu'il est transparent : mon erreur vient de ce que j'avais opéré avec un morceau de sel gemme *scié* et par conséquent *dépoli* ; il m'a suffi de le mouiller pour le rendre transparent, à la fois pour la lumière et les rayons *n*. Rien que cette influence du dépoli suffit pour montrer que les longueurs d'onde doivent être très petites.

Agréez l'expression de ma cordiale et reconnaissante amitié.

R. Blondlot

#### ALS 8p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Il s'agit vraisemblablement du prix Le Conte, dont Blondlot sera le lauréat en 1904. Un premier rapport sur les travaux de Blondlot est rédigé par Henri Becquerel, mais selon Mary-Jo Nye (1986, 75), Poincaré le réécrit, en supprimant l'essentiel des passages concernant les recherches de Blondlot sur les rayons *N*. Il s'agit sans doute du texte évoqué par Poincaré dans sa lettre à H. Becquerel (§4.10). Son rapport (1904d), présenté à l'Académie des sciences le 19.12.1904, évoque ainsi les rayons *N* : "Toutes les propriétés de ces rayons nouveaux ne sont pas encore bien connues et les circonstances n'ont pas permis à tous les membres de la Commission d'acquiescer sur ces questions la conviction que peut seule donner l'observation personnelle." Le prix Le Conte devait récompenser Blondlot non pas pour la découverte des rayons *N*, mais pour "l'ensemble des ses travaux" (ibid., 1120).

<sup>2</sup> En Allemagne, les principaux sceptiques des rayons *N* sont Heinrich Rubens et Otto Lummer.

<sup>3</sup> Augustin Charpentier est professeur de physique médicale à Nancy, et l'un des principaux soutiens de Blondlot ; il publie plusieurs notes sur les effets biologiques des rayons *N*.

<sup>4</sup>Lummer (1904, 422), publié le 15.12.1903. Otto Lummer (1860–1925) est professeur de physique au Physikalische-Technische Reichsanstalt (Berlin) ; il explique des variations de luminosité apparente à travers le fonctionnement des cones et des batonnets de la rétine.

<sup>5</sup>Blondlot (1903c). Les photogravures dont il est question dans la suite de la lettre correspondent aux photographies publiées dans cet article.

<sup>6</sup>Les larmes bataviques sont obtenues par trempage d’une bille de verre. Le refroidissement brutal provoque dans la bille de telles tensions qu’en en cassant le bout, le reste se met en poussière.

<sup>7</sup>Pour mesurer les longueurs d’onde des rayons N, Blondlot (1904c) se sert de la luminescence induite par les rayons N sur une couche de sulfure de calcium, couche disposée à la sortie du réseau de diffraction.

<sup>8</sup>Blondlot (1904b) corrige Georges Sagnac dans les termes suivants : “Les longueurs d’onde des rayons N sont beaucoup plus petites que celles de la lumière, contrairement à ce que je m’étais figuré un instant, et contrairement aux déterminations que M. Sagnac avait cru pouvoir tirer de la situation des images multiples d’une source par une lentille de quartz, images qu’il attribuait à la diffraction.”

<sup>9</sup>Charpentier (1904).

<sup>10</sup>Élie Mascart (§ 39) rend compte (1906) de sa visite fin 1905 au laboratoire de Blondlot, pendant laquelle il effectue des mesures sur la réfraction des rayons N par un prisme d’aluminium. Pour voir les effets, dit-il, “il y faut en réalité une excellente vue et un apprentissage spécial. Sur l’ensemble des résultats, je m’abstiens de commentaire, laissant à chacun le soin de se former une conviction.” Ernest Bichat (1845–1905) est professeur de physique et doyen de la faculté des sciences de Nancy. Il est co-auteur avec Blondlot d’un manuel d’électricité (1904), et publie huit notes aux *Comptes rendus* sur les rayons N.

## 9.21 Blondlot à Poincaré

Nancy 28 Décembre 1903<sup>§</sup>

Mon Cher ami,

J’ai fait mettre à la poste à votre adresse 3 clichés accompagnés d’explications et montrant les actions des rayons sur une étincelle de la lampe Nernst et de l’acier ; le cliché sans rayon *n*, & sur lequel les images sont égales a été plus développé que les autres, afin de s’assurer qu’une différence ne naîtrait pas par la prolongation du développement ; cela n’a pas eu lieu.

D’autres clichés montrent que l’action des larmes bataviques est à peu près pareille à celle de l’acier trempé.

Je me sers d’un appareil à va-et-vient très simple, qui permet de croiser les expériences sur les deux moitiés de la plaque de 5 en 5 secondes, l’une des moitiés recevant toujours la lumière de l’étincelle soumise aux rayons *n*, et l’autre moitié recevant toujours la lumière de l’étincelle soustraite aux rayons *n* par un écran.<sup>1</sup>

Les expériences, au nombre de 16, que j’ai faites avec cet appareil, ont *toutes* donné les résultats prévus : égalité ou inégalité des images dans le sens attendu.

Ne vous préoccupez pas de me retourner ces clichés, car j’en obtiens autant que je veux et à *coup sûr* ; une expérience complète exige moins d’un quart d’heure.

Je joins à mon envoi un carton portant une fente garnie de sulfure et une petite quantité de sulfure, pour varier les expériences, si vous le désirez.

Voici les réponses que je puis faire à vos questions.

Une intensité médiocre de la phosphorescence semble préférable.

<sup>§</sup>A cette lettre est jointe une feuille où figurent deux plaques photographiques mal conservées, annotées par la main de Blondlot : “les rayons *n* provenaient d’un bec Auer”.

La larme (ou l'acier) doit être approchée à quelques centimètres ; son action devient insensible à un mètre ; on peut aussi la cacher dans la main, en ayant soin de ne pas contracter les muscles, ou mieux la mettre derrière soi. Se méfier de l'action sur l'œil lui-même, laquelle peut tromper.

L'action se produit et cesse en quelques secondes ; *beaucoup* de personnes voient mieux *la cessation* que l'établissement de l'action.

Le cadran que je vous ai envoyé étant, à ce que je crois, *du zinc*, la larme n'agirait pas par derrière ; il n'en est pas de même pour la fente, remplie de sulfure. Ce cadran m'a été donné par un chef de travaux de l'École de pharmacie, qui s'en était servi pour répéter mes expériences, qu'il voyait du reste aisément.<sup>2</sup>

J'ai plusieurs fois essayé des expériences avec un écran percé, comme celle que vous m'indiquez ; je n'ai jamais réussi. Je pense que cela tient à la propagation de la phosphorescence observée par Ed. Becquerel, et aussi à l'action mutuelle des portions de la substance phosphorescente, qui s'envoient des rayons n.<sup>3</sup>

Il importe de ne faire aucun effort d'accommodation, ni de fixation, de regarder d'un œil distrait et sans accommoder aucunement si on le peut (comme les peintres impressionnistes), et même de tenir la tête dans un léger mouvement continu et irrégulier.

Bien cordialement à vous.

R. Blondlot

(Encore une Note d'un physicien allemand, Zahn, qui n'a rien vu !)<sup>4</sup>

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Blondlot (1904a) contient une description détaillée de l'appareil, avec clichés.

<sup>2</sup>La ville de Nancy accueille l'École supérieure de pharmacie de Strasbourg en 1872, suite à l'annexion de l'Alsace et de la Lorraine par l'Allemagne.

<sup>3</sup>Edmond Becquerel, père d'Henri Becquerel (§4).

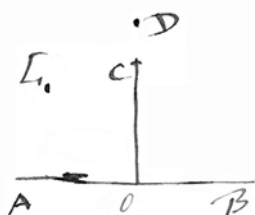
<sup>4</sup>H. Zahn, physicien à l'université de Kiel.

## 9.22 Blondlot à Poincaré

Nancy Janvier 1904

Mon Cher ami,

J'ai eu tant à faire, & tant d'affaires, tous ces temps ci, que je suis très en retard pour vous dire que l'expérience que vous me proposez dans votre dernière lettre réussit parfaitement.<sup>1</sup>



Entre les deux moitiés  $AO$  &  $OB$  de l'écran phosphorescent est disposée une lame de plomb  $OC$  perpendiculaire à l'écran ; en  $L$ , lame batavique, en  $D$  œil pouvant voir simultanément  $AO$  &  $OB$ . Si l'on a placé sur  $AO$  & sur  $BO$  deux objets sombres pareils : clef, papier noir découpé  $2^{\text{cm}}$ , cet objet se détache infiniment mieux sur le fond brillant du côté où se trouve la lame (ou toute autre source de rayon  $N$ ). L'effet change de côté en même temps que la source ; on peut placer les objets sombres aussi près que l'on veut de la lame de plomb. C'est une expérience frappante ; le jeune J. Becquerel l'a faite dans mon laboratoire, la semaine passée, et l'a répétée à différentes reprises.<sup>2</sup>

Maintenant, pourquoi on ne peut obtenir d'effets de contraste avec un écran percé d'une fente, je crois le savoir, au moins en gros : cela tient à l'action mutuelle des parties de l'écran ; ces actions sont très fortes et se font par l'échange de rayons  $N$ . Dans l'expérience ci-dessus, cet échange était empêché par le plomb. Le sulfure est extrêmement sensible à toutes sortes d'actions (dans lesquelles les rayons  $N$  ne jouent peut-être pas toujours un rôle) ; par ex. les expériences de Macé de Lépinay.<sup>3</sup> Gutton vient de faire une constatation très intéressante : l'action d'un *champ magnétique* sur le sulfure. Cette action est très forte, mais elle *n'a pas lieu dans un champ uniforme*. Une bobine, un fil unique traversé par un faible courant, les produisent manifestement. La nécessité d'un champ magnétique varié pour produire cette action n'indiquerait-elle pas qu'elle serait dûe à une action mécanique ? Ce phénomène est tout à fait distinct de l'action de l'acier, qu'il ne peut rester aucun doute sur sa réalité. Je suis bien heureux que Gutton soit arrivé à ce bon résultat, car il avait beaucoup travaillé sans arriver à grand chose. Le champ magnétique varié agit aussi fortement sur l'œil. N'est-ce pas quelque chose comme cela que Lord Kelvin attendait quand il a mis sa tête entre les pôles d'un électro-aimant ?<sup>4</sup>

Bien cordialement à vous,

R. Blondlot

Rubens est parvenu, me dit-on, à voir mes expériences.

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée.

<sup>2</sup>Becquerel (1904a), note communiquée le 09.05.1904.

<sup>3</sup>Macé de Lépinay (1904). Jules Macé de Lépinay (1851–1904) est professeur de physique à la faculté des sciences de Marseille.

<sup>4</sup>Voir (Thomson, 1893, 171) ; l'expérience est mentionnée par Camille Gutton (1904a) dans une note présentée par Poincaré à l'Académie des sciences le 01.02.1904.



## 9.23 Blondlot à Poincaré

Nancy 30 Novembre 1904

Mon Cher ami,

Je ne vous ai pas répondu plus tôt parce que j'étais occupé à des expériences photographiques dont je voulais vous communiquer les résultats. Vous les trouverez sur une feuille ci-jointe ; sur 37 expériences avec une lampe Nernst, 4 ont été mauvaises, dont 3 ont donné des images égales et une des images inégales en sens contraire du sens prévu. Cette proportion de bonnes expériences me semble satisfaisante, si l'on réfléchit que l'on ne peut être absolument maître du réglage du trembleur et de l'étincelle ; elle me le semblerait même encore si l'on ne tenait pas compte de deux ou trois autres expériences du tableau dans lesquelles le contraste était peu marqué.

Si la répétition de telles expériences photographiques présente un intérêt suffisant pour que quelques membres de l'Académie veuillent se déplacer pour cet objet, je suis tout disposé à les répéter devant eux : ils pourraient aussi les exécuter eux-mêmes ; s'ils le désiraient, je réglerais (ou Gutton, ou Virtz les régleraient) l'étincelle et ils feraient eux-mêmes l'expérience photographique.<sup>1</sup>

La photographie me semble établir le point suivant : une lampe Nernst et quelques autres sources émettent quelque chose qui traverse le bois, l'aluminium, etc. et augmente l'activité photographique d'une petite étincelle électrique. C'est déjà un fait nouveau et important, mais je crois que c'est tout ce qui peut être établi pour le moment d'une manière positive.

Les expériences de contrôle des observations d'écrans etc. restent aléatoires : certaines séries ont donné des résultats très favorables ; d'autres n'ont pas réussi, surtout lorsqu'on les prolongeait. Je crois pouvoir attribuer les difficultés à la fatigue, qui ne permet pas de continuer ces essais plus de quelques minutes et aussi à des actions perturbatrices d'origine très diverses : (presque) tous les corps agissent plus ou moins sur l'écran : le coton cardé, les boîtes de bois ou de carton, le papier agissent presque autant que les larmes bataviques ou l'acier trempé qu'on y renferme : même le sachant, on ne peut distinguer une boîte vide d'une boîte contenant ces substances, car elle agit à peu près autant. Il y a des complications très grandes et probablement quelques unes d'origine inconnue.

Si de telles expériences de contrôle réussissaient, elles seraient probantes, mais leur insuccès, probable, ne serait pas décisif à mes yeux. Pour moi, le jour où je ne verrais plus les phénomènes des rayons N, je le déclarerais hautement, mais comme je les vois avec une entière certitude (je ne suis pas le seul), je ne puis que le déclarer aussi hautement. Si l'on craignait que cette affirmation, que je ne puis pas pour le moment étayer de preuves positives en dehors des vérifications partielles par la photographie, pût à un degré quelconque être déplacée dans la bouche d'un correspondant de l'Académie, je n'hésiterais pas à donner ma démission de correspondant, estimant que c'est un devoir strict de dire et de faire ce qu'on sait être la vérité.<sup>2</sup>

Je continuerai à étudier les rayons N et phénomènes analogues, et je publierai les résultats à mes frais et sous *ma seule responsabilité*, à titre de simple particulier. Si quelques uns croient que je fais fausse route en physique, du moins personne ne pourra dire que j'ai

délaissé mon devoir. Cela seul m’importe.<sup>3</sup>

Votre fidèlement dévoué,

R. Blondlot

	papier mouillé à	sens	observations sur le contraste des images
1	gauche	prévu	très marqué
2	droite	id.	marqué
3	droite	id.	marqué
4	gauche	id.	très marqué
5	gauche	id.	très marqué
6	droite	id.	marqué
7	droite	id.	très marqué
8	gauche	id.	très marqué
9	gauche	id.	marqué
10	droite	id.	marqué
11	droite	id.	marqué
12	gauche	id.	marqué

Ce sont les 1<sup>re</sup> expériences citées dans ma note des *C.R.*<sup>h</sup>

13	droite	id.	très marqué
14	gauche	id.	certain mais peu marqué
15	gauche	id.	certain mais très faible
16	droite		douteux
17	droite	id.	marqué
18	gauche	id.	très marqué
[19	pas de papier mouillé ; images égales]		
20	gauche	prévu	très peu marqué
21	gauche	id.	très marqué
22	droite	id.	marqué
23	droite	prévu	très marqué
24	gauche		douteux
25	gauche	prévu	très marqué
26	gauche	id.	très marqué
27	droite	id.	très marqué
28	droite	id.	marqué
29	gauche	id.	très marqué

<sup>h</sup>Note marginale, indiquant les entrées 1 à 12.

30	droite	id.	certain mais peu marqué
31	droite		douteux
32	gauche	à rebours,	très marqué
33	droite	prévu	marqué
34	gauche	id.	très marqué
35	droite	id.	très marqué
36	gauche	id.	très marqué
37	droite	id.	très marqué

larmes bataviques, écran en papier mouillé, un peu transparent

38	gauche	id.	marqué
39	droite	id.	peu marqué mais certain
40	droite	id.	marqué

2 limes écran en plomb

41	droite	id.	marqué
----	--------	-----	--------

#### ALS 8p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Camille Gutton (§ 29) et Lucien Vitz. Ce dernier est nommé préparateur de physique à la faculté des sciences de Nancy le 01.03.1904 (Procès-verbaux des séances de la faculté des sciences de Nancy 1854–1906, p. 241, Archives de la faculté des sciences).

<sup>2</sup>Blondlot est correspondant de l'Académie des sciences depuis 1894. La compétence scientifique de Blondlot vient d'être mise en doute par un article publié le 21 octobre par le physicien américain R.W. Wood (1904). A propos de l'article de Wood, voir Ashmore (1993).

<sup>3</sup>Blondlot ne publie plus dans les *Comptes rendus* à partir de cette date.

## 9.24 Blondlot à Poincaré

Nancy 1er Décembre 1904

Mon Cher ami,

Je m'aperçois que j'ai omis de vous répondre au sujet de la photographie à l'aide des sulfures. J'ai, en effet, fait là-dessus des essais qui n'ont pas abouti ; peut-être n'ai-je pas assez persévéré. La décroissance de la phosphorescence est une grande difficulté. M. Rothé a tenté de s'en affranchir par une méthode ingénieuse, mais il n'est pas affirmatif relativement aux résultats.<sup>1</sup>

L'action des rayons N sur le sulfure paraît progressive, mais 75 secondes me semble un temps plus long que ceux que j'ai observés.

Je crois que l'avantage de l'étincelle sur les autres réactifs tient à ce que le régime électrique lui-même est modifié par les rayons N, un peu comme les oscillations Hertiennes le sont par la lumière ultra violette.<sup>2</sup>

Cordialement à vous

R. Blondlot

ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Rothé (1904). Edmond Rothé (1873–1942) est maître de conférences de physique à la faculté des sciences de Grenoble. Il devient maître de conférences à la faculté des sciences de Nancy le 27.10.1905, sur le poste de C. Gutton (Procès-verbaux des séances de la faculté des sciences de Nancy 1854–1906, p. 266, Archives de la faculté des sciences).

<sup>2</sup>A ce propos voir Hertz (1887a).

## 9.25 Blondlot à Poincaré

Nancy 4 Décembre 1904

Mon Cher ami,

Je réponds à vos questions.<sup>1</sup>

1° Je crois que quelqu'un qui ne verrait pas l'augmentation d'éclat produite par les rayons N sur la petite étincelle ne pourrait parvenir à la régler. Voici comment nous nous y prenons pour ce réglage : les pointes étant d'abord mises au contact, on les écarte progressivement avec une extrême lenteur ; on voit alors l'éclat de l'étincelle augmenter d'abord avec la distance des pointes, puis diminuer ensuite. C'est vers le maximum qu'il faut s'arrêter ; l'étincelle est alors sensible à l'œil, et propre à la photographie, à condition que le courant induit soit assez faible et que le trembleur marche régulièrement, ce qui est peut-être la plus grande difficulté. La sensibilité pour l'œil est beaucoup plus aisée à obtenir que la sensibilité nécessaire pour la photographie, parce que, pour celle-ci, l'étincelle doit être extrêmement faible. La sensibilité de l'étincelle aux rayons N est plus facile à constater que celle des écrans phosphorescents ; Gutton nous compare à des gens qui photographieraient un objet qu'ils voient très loin, afin d'être sûrs que cet objet existe. Aussi n'est-ce pas pour nous que nous photographions.<sup>2</sup>

2° Un physicien *non-voyant*, comme vous dites, aurait besoin pour apprendre à faire des photographies et les réussir à coup sûr d'autant de temps que quelqu'un qui n'apprécierait pas les intervalles musicaux pour arriver à jouer juste du violon : autant dire que cela me semble impossible.<sup>3</sup>

Tranchons le mot, ces expériences sont une sorte de tour de force et elles sont à la limite de ce que l'on peut faire.

3° Il me serait impossible de me rendre à Paris : ma santé qui, bien que précaire, s'était améliorée pendant ces dernières années, a subi le contre coup des graves ennuis actuels : j'ai perdu l'appétit, et le jour et la nuit se passent pour moi dans un état très pénible.

J'ai réfléchi que la photographie au moyen du sulfure doit être impossible ou, du moins, presque impossible.

J. Becquerel a, en effet, constaté que l'éclat *vrai* du sulfure n'augmente pas, ou presque pas, par les rayons N, mais que l'augmentation apparente d'éclat serait due à des rayons N secondaires émis par le sulfure et agissant sur l'œil.<sup>4</sup> Il n'y aurait alors pour ainsi dire rien à attendre de la photographie avec les sulfures.

Bien Cordialement à vous,

R. Blondlot

ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Aucune lettre de Poincaré à Blondlot n'a été retrouvée.

<sup>2</sup>Camille Gutton (§ 29).

<sup>3</sup>Poincaré (1904b) avoua son incapacité à voir les variations d'intensité de l'étincelle.

<sup>4</sup>Jean Becquerel (1904b), note présentée à l'Académie des sciences par H. Becquerel le 04.07.1904. Blondlot appelle les rayons N secondaires "rayons N<sub>1</sub>"; selon lui ils diminuent la phosphorescence du sulfure de calcium (1904d).

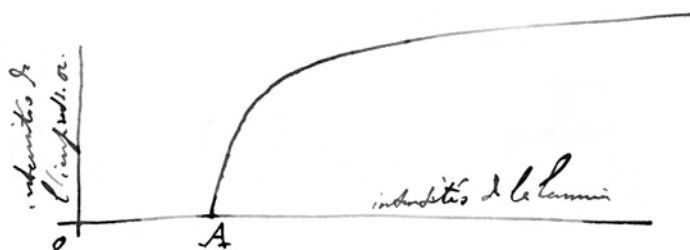
## 9.26 Blondlot à Poincaré

Nancy le 18 Décembre 1904

Mon Cher ami,

Bien que je ne puisse exprimer une opinion dûment motivée sur les expériences de M. Bordier, néanmoins, je n'ai pas grande confiance.<sup>1</sup> Si, comme je le crains, elles ne se vérifient pas, ce sera tant pis pour les rayons N, car on ne manquera pas d'attribuer cet insuccès à la non existence de ces rayons. Aussi me suis-je attaché à améliorer encore la photographie de la petite étincelle. A cet effet, j'ai intercalé dans le circuit induit qui comprend cette étincelle un téléphone à fil gros et court : de cette façon, on peut, pendant l'expérience même, s'assurer si l'étincelle ne s'éteint pas et si elle a été régulière ; dans le cas contraire, on rejetterait l'expérience, sans même développer la plaque.

J'ai eu avant hier l'occasion de répéter ces expériences de photographie d'étincelles devant M. P. Chappuis (anciennement du bureau international à Sèvres) ; elles ont complètement réussi, ce qui l'a d'autant plus frappé que, récemment, il avait vu à Berlin Lummer, qui a constamment échoué.<sup>2</sup> Ces expériences sont difficiles parce qu'il faut opérer sur une étincelle extrêmement faible, et, néanmoins, capable d'impressionner la plaque photographique. Je crois que, dans le voisinage de la plus petite intensité capable d'impressionner la plaque, celle-ci est extrêmement sensible aux différences d'intensité, et je suis porté à penser que, si l'on portait en abscisses les intensités de la lumière agissant sur la plaque et en ordonnées les intensités des impressions pour un temps de pose déterminé, on aurait une courbe de la forme suivante :<sup>3</sup>



c'est, du reste, la forme la plus simple de courbe passant par le point A et ayant une asymptote horizontale, conditions données par l'expérience. Cette forme de courbe expliquerait la très grande sensibilité de la méthode photographique pour des étincelles très faibles et le défaut de sensibilité pour des étincelles plus fortes.

Je me cantonne dans la photographie des étincelles, et je crois la position inattaquable. Quant à savoir s'il est opportun que M. J. Becquerel se prête à des expériences de contrôle, je ne puis émettre à ce sujet aucune opinion, & c'est lui le meilleur juge.

Je crains que des expériences de ce genre finissent toujours par échouer, si on les prolonge et si celui qui les fait est fatigué ou mal disposé, mais je ne veux faire partager cette crainte à personne.

J'ai l'intention de faire imprimer bientôt à mes frais la suite de mes recherches, signées de mon nom tout court, demeurant fidèle au devoir de dire toute la vérité sans me laisser arrêter par aucune considération, et dussé-je devenir sur mes vieux jours un « outlaw » scientifique.<sup>4</sup>

Fidèlement et cordialement à vous,

R. Blondlot

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Henri Bordier (1905) propose une méthode objective (la photographie) pour mesurer les variations de la phosphorescence du sulfure de calcium sous l'action des rayons N.

<sup>2</sup>Pierre Chappuis (1855–1916) et Otto Lummer (1860–1925). Lummer est depuis peu professeur à l'université de Breslau (Wrocław).

<sup>3</sup>Cette courbe exprime la saturation du film sensible de la plaque photographique.

<sup>4</sup>Blondlot (1904b).

## 9.27 Blondlot à Poincaré

Nancy 2 Avril 1905

Mon Cher ami,

Avant de vous répondre, j'ai tenu à répéter encore une fois les expériences concernant l'action des rayons N sur l'étincelle primaire d'un excitateur, action qui modifie en même temps l'étincelle du résonateur. Cette fois, j'ai employé une machine électrique avec le dispositif ci-contre.



L'excitateur  $AA'$  est relié à une machine de Whimshurst et engendre des ondes Hertziennes dans le circuit  $BB'$ ; on a ainsi au micromètre  $CC'$  une petite étincelle; un écran en plomb  $D$  protège la petite étincelle contre les rayons ultraviolets et rayons N qui pourraient provenir de l'étincelle primaire.<sup>1</sup>

Une source  $S$ , lampe ou soleil, dont les rayons lumineux sont interceptés d'une manière constante par des écrans en aluminium, bois, papier, etc., envoie des rayons N sur l'étincelle; à l'aide d'un écran  $E$  recouvert de papier mouillé, on peut intercepter les rayons N. On observe la petite étincelle à travers un verre dépoli. On peut ainsi constater que l'action des rayons N sur l'étincelle primaire diminue l'étincelle secondaire.

Dans cette dernière série d'expériences, l'action s'est montrée aussi nette, au moins que dans les précédentes (dont l'une avait été faite par Gutton).<sup>2</sup> L'étincelle primaire n'a besoin d'aucun réglage : il suffit qu'elle ne dépasse pas 2 ou 3 millimètres ; le réglage de l'étincelle secondaire consiste à donner au micromètre un écartement tel que l'étincelle soit bien régulière, ou, du moins, aussi peu irrégulière que possible. Malgré tout, l'observation des variations de l'étincelle secondaire me paraît plus difficile que celle de l'étincelle qui sert dans les expériences photographiques, par exemple. Est-elle plus accessible à tous les yeux ? Voilà ce que je ne puis dire. En tous cas, le caractère commun à toutes les variations d'éclat des étincelles en général, par les rayons N et actions analogues, est que ces variations restent visibles à travers une cuve remplie d'eau pure, tandis que les variations d'éclat du sulfure sont (presque) inobservables dans ces conditions (comme l'a constaté J. Becquerel, et comme je l'ai vérifié un très grand nombre de fois).<sup>3</sup> Ce caractère semble bien indiquer que l'action sur l'étincelle est bien un phénomène physique, tandis que les expériences sur les sulfures auraient un caractère en grande partie physiologique.<sup>4</sup> Les mesures électrométriques ont porté sur l'étincelle *secondaire* exclusivement. J'ai tenté, sans succès, de rechercher une variation de la distance explosive, et, d'après cela, je crains que le bolomètre ou un cohéreur ne donnent rien non plus.<sup>5</sup>

La photographie reste, à mon avis, le seul moyen d'obtenir des effets objectifs ; je viens d'en faire une vingtaine qui ont toutes réussi, et je suis très satisfait que MM. J. Becquerel et Broca entreprennent de travailler dans cette direction.<sup>6</sup> Un seul type de bobine d'induction nous a donné de bons résultats : c'est un appareil portant la marque "ευρηκα", et dont le trembleur offre une disposition particulière.<sup>7</sup> Je suis tout disposé à prêter une de ces bobines à MM. Becquerel et Broca.

Je crois ne pas vous avoir encore dit que, d'après un très grand nombre d'expériences, les radiations de l'acier trempé doivent être considérées comme un cas d'excitation pesante et non comme des rayons N.

Je vous adresse l'expression de ma cordiale amitié,

R. Blondlot

#### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>James Wimshurst (1832–1903) inventa plusieurs générateurs électrostatiques à influence.

<sup>2</sup>Camille Gutton (§ 29).

<sup>3</sup>Jean Becquerel (1878–1953), assistant de son père Henri Becquerel au Muséum d'histoire naturelle. Poincaré (§ 62.22) fera un rapport sur ses travaux scientifiques en 1909.

<sup>4</sup>Blondlot estime que les variations de la phosphorescence des sulfures ne sont pas dus à l'action des rayons N sur ces sulfures mais à l'action des rayons N sur l'œil dont la sensibilité serait alors accrue.

<sup>5</sup>Le bolomètre est introduit en 1880 par Samuel Pierpont Langley pour l'étude du rayonnement solaire infrarouge ; il est utilisé également pour mesurer l'augmentation de température d'un fil traversé par des ondes hertziennes (Venable et Venable, 1971).

<sup>6</sup>André Broca (1863–1925), répétiteur à l'École polytechnique. J. Becquerel et A. Broca ont collaboré sur l'investigation des rayons N ; voir (Becquerel et Broca, 1904), présentée à l'Académie des sciences le 24.05.1904.

<sup>7</sup>Le trembleur est un interrupteur à marteau ; attaché à une bobine d'induction, il permet la production d'étincelles en permanence.

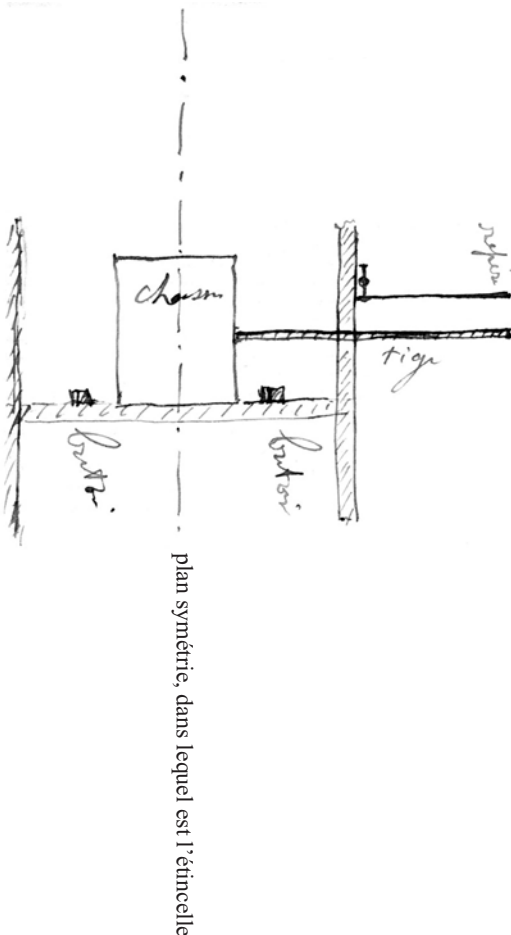
## 9.28 Blondlot à Poincaré

Nancy le 7 Avril 1905

Mon Cher ami,

Je reviens sur un point important de votre lettre.<sup>1</sup> Vous dites : « il me semble que, l'étincelle une fois réglée, l'opération pourrait être achevée par un non-voyant quelconque. . . ». Il y a là autre chose qu'une présomption, car l'épreuve s'en trouve avoir été faite depuis longtemps sans qu'on l'ait cherchée. En effet, Gutton qui, dans les expériences photographiques, a fait un très grand nombre de fois la manœuvre du châssis, n'a jamais, me dit-il, réglé lui-même l'étincelle.<sup>2</sup> Je n'avais jamais fait attention à cette circonstance, mais je me ressouviens maintenant parfaitement que le réglage a toujours été fait par Vartz ou moi.<sup>3</sup>

Plus encore, il est arrivé que l'appareil est resté réglé d'un jour à l'autre sans qu'on eût besoin d'y toucher pour obtenir de bonnes photographies.



Le téléphone est un contrôle très précieux. Un perfectionnement a été introduit depuis plusieurs mois dans la manœuvre du châssis : celui-ci étant d'abord placé dans la position symétrique, on l'ouvre d'abord, puis c'est seulement ensuite que l'on commence les poses alternées, que l'on termine en ramenant le châssis dans la position symétrique et le fermant ensuite. On évite ainsi les erreurs de durée de pose qui pourraient provenir de l'ouverture et de la fermeture du châssis au début et à la fin des poses alternées. Le voile (insignifiant d'ailleurs), qui peut se produire pendant les 2 intervalles de temps très courts où la plaque est dans la position symétrique, est lui-même symétrique et n'introduit aucune perturbation.

Le châssis est manié à l'aide d'une longue tige qui sort latéralement de la caisse où se fait la photographie ; un repère indique la position moyenne du châssis et des butoirs limitent la course du châssis dans les poses alternées.



Si MM. Becquerel & Broca ont confié à un constructeur la construction de leur appareil, je ne suis pas sans appréhender les conséquences de l'esprit de perfectionnement que l'on rencontre chez la plupart de ces professionnels.<sup>4</sup> Il faut surtout éviter la multiplication des pièces collées, ou vissées, ou serrées, parce que tout cela agit sur l'étincelle. Mes observations sont complètement d'accord avec les expériences que M. Chaumann a décrites dans les *C.R.*, et qui sont déjà bien anciennes.<sup>5</sup>

Bien cordialement à vous,  
R. Blondlot

**ALS 4p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>La lettre de Poincaré nous manque.

<sup>2</sup>Camille Gutton (§ 29).

<sup>3</sup>Lucien Virtz est préparateur de physique à la faculté des sciences de Nancy (§9.23). Une note de Blondlot (1904a) montre son dispositif photographique.

<sup>4</sup>Jean Becquerel et André Broca ; voir (§ 9.27).

<sup>5</sup>Il s'agit probablement de Gustav Jaumann (1863–1924), qui enseigne la physique à la Technische Hochschule de Brünn (Brno). Sa note (1896) sur la déviation électrostatique des rayons cathodiques fut communiquée par Poincaré à l'Académie des sciences.

## 9.29 Blondlot à Poincaré

[Ca. 27.07.1905–15.01.1906]

R. BLONDLOT

PROFESSEUR À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY,  
16, QUAI CLAUDE LE LORRAIN

Mon Cher ami,

Permettez moi de joindre mes humbles mais sincères félicitations à l'hommage unanime des savants et des non-savants.<sup>1</sup>

Ici, nous ne sommes pas gais ; après la perte de Bichat, voilà que notre pauvre Floquet, après avoir été très gravement malade d'une bronchopneumonie suivie d'un abcès dans le ventre, semble ne pas pouvoir reprendre ses forces.<sup>2</sup>

Par contre, les expériences vont très bien : les phénomènes fondamentaux des rayons N et de l'émission pesante, la polarisation de l'émission d'un tube de Crookes, se photographient sans peine et avec une sûreté absolue. Gutton fait de son côté des photographies par une méthode un peu différente & avec le même succès.<sup>3</sup>

**AC. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Il s'agit peut-être du prix Bolyai, décerné à Poincaré par l'Académie hongroise des sciences le 18.04.1905 (Rollet 2001, 361).

<sup>2</sup>Ernest Bichat (1845–1905) fut professeur de physique et doyen de la faculté des sciences de Nancy, ainsi que président du conseil général du département de Meurthe-et-Moselle. Suite à la mort de Bichat (le 27.07.1905), Gaston Floquet (1847–1920), professeur d'analyse à Nancy, est nommé doyen le 01.11.1905 (Procès-verbaux des séances de la faculté des sciences de Nancy, p. 271, Archives de la faculté des sciences).

<sup>3</sup>Voir la note de Camille Gutton sur l'action des rayons N (1906), communiquée par Mascart à l'Académie des sciences le 15.01.1906.

## Chapitre 10

# Joseph Boussinesq

Joseph Boussinesq (1842–1929), un protégé d’Adhémar Barré de Saint-Venant, devient professeur de mécanique physique et expérimentale à la faculté des sciences de Paris en 1886. La même année, il est élu à l’Académie des sciences, dans la section de mécanique. A l’occasion de la mort de l’astronome Félix-François Tisserand en 1896, Poincaré laisse la chaire de physique mathématique et calcul des probabilités à Boussinesq, contre celle de Tisserand en mécanique céleste et astronomie mathématique (*DSB*).

Sur la base des travaux menés par des physiciens mathématiciens français de la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, Boussinesq contribue aux théories de l’élasticité, l’hydrodynamique, et la chaleur, entre autres. Il publie également sur la question du déterminisme. A la fin des années 1860, sa connaissance des théories de l’hydrodynamique et de l’élasticité est mise au service de l’élaboration d’une théorie de la propagation de la lumière, fondée sur l’hypothèse d’un éther isotrope universel. L’éther de Boussinesq occupait l’univers entier ; il se trouvait aussi bien à l’intérieur qu’à l’extérieur des corps solides. Ce modèle de l’éther, et la théorie que Boussinesq bâtit sur lui, rencontre un certain succès dans l’explication des phénomènes de la dispersion et de la polarisation rotatoire, ainsi que l’optique cristalline, et l’optique des corps en mouvement. Boussinesq n’est pas tenté par la théorie électrodynamique, mais les électrodynamiciens sont nombreux à adopter son modèle d’éther.<sup>1</sup>

### Notes

<sup>1</sup>Sur les travaux hydrodynamiques voir Darrigol (2005, 233–239, 271–272) ; sur sa théorie de l’éther voir Whittaker (1951–1953, I, 167–169).

## 10.1 Poincaré à Boussinesq

[Ca. 02.1882]

Monsieur et cher collègue,

La lecture de votre note m'a vivement intéressé, car vous avez contribué par le théorème que vous énoncez à éclaircir un des points les plus obscures du calcul intégral.<sup>1</sup> Est-ce à dire que vous avez dit le dernier mot et que cette question n'ait pas besoin d'être encore approfondie davantage et que votre théorème ne puisse être précisé? Je ne le crois pas et sans doute vous ne le croyez pas non plus. Voici quelques points sur lesquels je vous demanderai la permission d'appeler votre attention.

Prenons d'abord la définition des intégrales asymptotes; nous allons voir surgir certaines difficultés. Vous prenez l'équation :

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t)$$

dont l'int. gén. est  $\varphi(x, t) = C$ . Qu'est-ce qu'une intégrale asympt. Pour une valeur de  $t$  et pour les valeurs plus grandes,  $x$  diffère aussi peu que l'on veut pour une inf. d'intégr. pour des valeurs de  $C$  qui ne sont pas d'ailleurs infiniment voisines les unes des autres.



Ainsi si  $AB$  est une intégrale asymptote, les autres intégrales  $A'B'$ ,  $A''B''$  se rapprochent asymptotiquement de  $AB$  quand  $t$  tend vers l'infini. Mais alors  $A'B'$  et  $A''B''$  se rapprochent asympt. l'une de l'autre.  $A'B'$  rentrerait donc dans la définition des int. asympt.

A ce compte toutes les intégrales seraient asymptotes. Ainsi si on a les courbes

$$xy = \text{const.}$$

Toutes les hyperboles qu'elles représentent sont asymptotes les unes aux autres. Les *véritables* intégrales asymptotes n'ont-elles donc pas une propriété qui les définisse? Évidemment oui; mais il faudrait la trouver. Ainsi dans certains cas, les vraies int. asympt. seront des courbes fermées; dans d'autres ce seront celles qui iront passer par certains points singuliers, etc. Cette incertitude dans la définition sera difficile à lever. Nous savons bien l'un et l'autre ce que nous entendons par intégr. asympt. mais il nous serait difficile de le dire.<sup>2</sup> Cette incertitude se reflète dans la règle que vous donnez et que vos recherches ultérieures vous amèneront sans doute à préciser davantage.

Mettons l'éq. sous la forme générale

$$\frac{dx}{X} = \frac{dy}{Y} \quad \text{intégr. génér. } f(x, y) = C,$$

le facteur d'intégr.  $z$  est donné par l'équation

$$X \frac{dz}{dx} + Y \frac{dz}{dy} + z \left( \frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} \right) = 0. \quad (1)$$

Mais cette équation a une infinité d'intégrales comprises dans la formule

$$z\Phi(f) \quad (2)$$

$\Phi$  étant une fonction arbitraire de  $f(x, y)$ .

Soit

$$\Phi = \frac{1}{f(x, y) - \alpha} \quad (\alpha \text{ étant quelconque})$$

En égalant (2) à l'infini, on trouvera  $f(x, y) = \alpha$ . C'est-à-dire une intégrale quelconque. Aussi quand on cherche les intégr. asympt. (les véritables) n'est-il pas indifférent de choisir telle ou telle des intégrales de l'équation (1). Voici comment je faisais dans les exemples dont vous avez bien voulu parler dans votre note :

Je suppose que  $X$  et  $Y$  soient entiers en  $x$  et  $y$  et que pour

$$x = y = 0$$

on ait

$$X = Y = 0.$$

J'ai démontré que l'équation (1) admet une intégrale qui se développe suivant les puissances croissantes de  $x$  et de  $y$  quand ces variables sont assez petites, et qu'elle n'en admet qu'une. C'est cette intégrale que j'égalais à l'infini pour obtenir les int. asympt. ou plutôt l'une d'entre elles.

Laissez-moi vous dire de nouveau combien votre note m'a intéressé et combien ce problème dont vous avez commencé la solution me paraît difficile et important.

Veuillez agréer, Monsieur et Cher Collègue, l'assurance de ma haute estime et de mes sentiments dévoués,

Poincaré

**ALS 4p. MS 4229, 256, Bibliothèque de l'Institut de France. Transcrite dans Poincaré (1986, 83–85).**

<sup>1</sup>Boussinesq (1882), note présentée à l'Académie des sciences par Saint-Venant le 30.01.1882. Il démontre le théorème selon lequel les équations linéaires n'admettent pas plus d'intégrales asymptotes distinctes que de solutions singulières.

<sup>2</sup>Boussinesq (1882, 208) définit les intégrales asymptotes d'une équation différentielle  $x' = f(t, x)$  comme celles qui, "pour une valeur donnée quelconque de  $t$  et pour toutes les valeurs, ou plus grandes, ou plus petites, la fonction  $x$  y diffère aussi peu qu'on veut de ce qu'elle est dans d'autres intégrales, très distinctes pourtant de celle-là, c'est-à-dire s'en écartant notablement pour les valeurs de  $t$  qui sont, au contraire, ou plus petites ou plus grandes que la valeur donnée."

## 10.2 Boussinesq à Poincaré

Paris, 19 janvier 1892

Mon cher Confrère,

Voici l'application, à des mouvements sensiblement parallèles aux  $x$  propagés par ondes planes suivant les  $z$  positifs, de la théorie exposée vers la fin de mon volume intitulé « Application des potentiels etc. . . » (pp. 673 à 697) relativement aux ondes émanées d'une petite région centrale d'ébranlement, dans tout milieu élastique hétérotrope et homogène, sans dispersion.<sup>1</sup> Bornons-nous ici, pour simplifier, à l'éther isotrope lumineux (où  $\lambda + 2\mu = 0$ )<sup>2</sup> et à des mouvements parallèles au plan des  $xz$ , où, tout étant indépendant de  $y$ , l'on ait  $v = 0$ ,  $d(u, w)/dy = 0$ .<sup>3</sup> Enfin, adoptons pour unité de longueur la vitesse de propagation de la lumière. Les trois équations indéfinies des mouvements,<sup>4</sup>

$$\frac{d^2(u, v, w)}{dt^2} = \Delta_2(u, v, w) - \frac{d\left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right)}{d(x, y, z)},$$

se réduiront ainsi à

$$\frac{d^2u}{dt^2} - \frac{d^2u}{dz^2} = -\frac{d^2w}{dxdz}, \quad \frac{d^2w}{dt^2} - \frac{d^2w}{dx^2} = -\frac{d^2u}{dxdz}. \quad (1)$$

Cela posé, faisons les trois hypothèses *convenues*; 1°, que  $u$  et  $w$  varient beaucoup plus lentement en fonction de  $x$  qu'en fonction de  $z$  et  $t$ ; 2°, que les déplacements soient sensiblement parallèles aux  $x$ , ou que  $w$  soit *négligeable devant  $u$  à une première approximation*; 3° qu'il s'agisse d'ondes propagées vers les  $z$  positifs; et admettons même d'abord qu'il soit question d'une onde résultant d'une perturbation *initiale localisée*, ou que, pour  $t = -\infty$ , l'on ait  $u = 0$ ,  $w = 0$  en tous les points ayant leur abscisse  $z$  finie, jusque et y compris ceux où  $z = +\infty$ .

A une *première* approximation, nous pourrions négliger, dans le système (1), à côté des termes de l'ordre de  $d^2u/dt^2$  ou de  $d^2u/dz^2$ , soit les termes en  $w$ , soit même le terme en  $d^2u/dxdz$ , où

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{du}{dz} \right)$$

est très petit par rapport à

$$\frac{d}{d(z, t)} \left( \frac{du}{dz} \right).$$

Les équations (1) deviennent donc, respectivement,

$$\frac{d^2u}{dt^2} - \frac{d^2u}{dz^2} = 0, \quad 0 = 0;$$

et l'on doit y satisfaire en prenant, vu qu'il est question d'ondes propagées vers les  $z$  positifs,

$$u = f(x)\varphi(t - z), \quad (2)$$

avec deux fonctions arbitraires  $f, \varphi$ , dont la première aura, par hypothèse, sa dérivée  $f'(x)$  très petite.

A une deuxième approximation, les *principaux* des termes négligés précédemment dans (1) doivent être mis en compte, savoir, les termes  $d^2u/dxdz$  et  $d^2w/dt^2$ , mais non, encore, la dérivée beaucoup plus petite  $d^2w/dxdz$ , ni surtout  $d^2w/dx^2$ . Il vient donc, au lieu de (2),

$$\frac{d^2u}{dt^2} - \frac{d^2u}{dx^2} = 0, \quad \frac{d^2w}{dt^2} = -\frac{d^2u}{dxdz}. \quad (3)$$

La première (3) donne encore l'expression (2) de  $u$ ; et la seconde (3), où  $u$  pouvait déjà recevoir sa *première* valeur approchée (2), donne

$$\frac{d^2w}{dt^2} = f'(x)\varphi'(t-z).$$

D'où, multipliant deux fois successivement par  $dt$  et intégrant chaque fois à partir de la valeur  $t = -\infty$  qui annule  $u, \varphi, w$  et leurs dérivées,

$$w = f'(x) \int_{-\infty}^t \varphi(t-z)dt = f'(x) \int_{-\infty}^{t-z} \varphi(\alpha)d\alpha. \quad (4)$$

Ainsi, à une *deuxième* approximation, les deux fonctions  $f, \varphi$ , dans  $u$ , restent arbitraires; seulement  $w$ , de l'ordre de petitesse de  $f'(x)$ , n'est pas nul, mais donné par la formule (4).

Je me suis arrêté à cette deuxième approximation dans le cas général d'ondes courtes et d'un milieu hétérotrope. Il s'en dégage des lois simples, à savoir: 1° au lieu de la première formule (3), une formule laissant subsister la graduelle variation *arbitraire* des amplitudes d'un point à l'autre d'une même surface d'onde, mais avec décroissement comme l'inverse de la distance  $r$  à la région des ébranlements, le long d'un même rayon  $r$  et en suivant une même onde; 2°, au lieu de (4), des expressions analogues pour les petites composantes du déplacement suivant des directions normales à celle de la partie principale ou polarisée de mouvement, mais variables comme l'inverse de  $r^2$  quand on suit une même onde le long d'un même rayon  $r$ .

Si, au lieu de mouvements *ayant commencé*, on a des mouvements périodiques d'une période donnée  $T$ , avec valeur moyenne *nulle* des déplacements successifs  $u$  en chaque point, ou, par suite, de la fonction  $\varphi(\alpha)$ , il suffira de remplacer, dans (4), la limite inférieure  $-\infty$  de  $\alpha$  par une valeur constante quelconque, zéro par exemple. On prendra donc

$$u = f(x)\varphi(t-z), \quad w = f'(x) \int_0^{t-z} \varphi(\alpha)d\alpha, \quad (5)$$

expressions dont la seconde restera bien sans cesse très petite de l'ordre de  $f'(x)$ , vu la valeur limitée que ne dépasse pas

$$\int_0^\alpha \varphi(\alpha)d\alpha.$$

A une troisième approximation, il y aurait à tenir compte, dans (1), du terme  $-d^2w/dxdz$  (mais pas encore de  $d^2w/dx^2$ ). Il viendrait donc, au lieu de (1),

$$\frac{d^2u}{dt^2} - \frac{d^2u}{dx^2} = -\frac{d^2w}{dxdz}, \quad \frac{d^2w}{dt^2} = -\frac{d^2u}{dxdz}; \quad (6)$$

ce qui, en remplaçant  $w$  par sa valeur approchée (4), donnerait, pour déterminer  $u$ , l'équation

$$\frac{d^2u}{dt^2} - \frac{d^2u}{dz^2} = f''(x)\varphi(t-z) = \frac{d}{dz} \left[ -f''(x) \int_{-\infty}^{t-z} \varphi(\alpha) d\alpha \right]. \quad (7)$$

Pour les mouvements dont il s'agit ici, propagés suivant les  $z$  positifs, il en résulterait, comme intégrale première,

$$\frac{du}{dt} + \frac{du}{dz} - \frac{f''(x)}{2} \int_{-\infty}^{t-z} \varphi(\alpha) d\alpha = 0, \quad \text{ou} \quad \frac{du}{dt} + \frac{du}{dz} - \frac{1}{2} \frac{dw}{dx} = 0, \quad (8)$$

ainsi que vous pouvez voir par les pages 364\* et 365\* de mon second fascicule de *Calcul intégral* (dont je vous ai fait remettre un exemplaire).<sup>5</sup> Alors les ondes ne restent plus planes, parce qu'en progressant elles se déforment peu à peu, d'une manière variable avec  $x$ . Mais, sans doute, dans le cas de mouvements périodiques, les déformations sont périodiques aussi et restent par suite insignifiantes. Peut-être la chose vaudrait-elle la peine d'être étudiée. Mais je suis plutôt porté à penser qu'il ne s'agit là que de minuties inobservables, au moins dans les cas d'ondes aussi courtes que celles de lumière et même du son. Et il est fort possible que pour toutes celles d'entre ces ondes dont l'amplitude est sensible, il fallût *en même temps* compter les autres circonstances qui entraînent aussi des déformations de l'onde ou des inégalités de propagation, je veux dire, par exemple, les termes non linéaires (comme en  $du^2/dx^2$ , etc.) constamment négligés par les auteurs dans la théorie de l'élasticité, mais nécessaires à considérer dans les ondes liquides un peu hautes, quelquefois même dans les ondes sonores des gaz.

Votre bien dévoué confrère et collègue,

J. Boussinesq

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Boussinesq (1885, Note III, § 2) s'intéresse à la théorie de la délimitation latérale des rayons sonores ou lumineux.

<sup>2</sup>Il s'agit des coefficients d'élasticité de Lamé. Le rapport des deux coefficients de Lamé fut déterminé empiriquement par Alfred Cornu, qui encouragea Poincaré d'étudier la variation des deux rayons de courbure d'une des quatre faces libres d'un prisme rectangle élastique à six faces sous pression sur deux faces opposées; voir la note (1892g) présentée à l'Académie des sciences le 22.02.1892, rééditée dans (1916–1956, X, 228–230).

<sup>3</sup>Boussinesq désigne par  $(u, v, w)$  le déplacement.

<sup>4</sup>Le terme  $\Delta_2$  représente l'opérateur laplacien. Il s'agit de l'équation de MacCullagh, qu'on peut écrire en notation vectorielle :

$$\frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} = -\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{u}) = \Delta \vec{u} - \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}).$$

Poincaré traite de ces mêmes équations sous une autre forme dans (Poincaré, 1892h, 6).

<sup>5</sup>Boussinesq (1887).

## 10.3 Poincaré à Boussinesq

[Ca. 1894–1900]

Mon cher Collègue,

Permettez-moi de vous faire remettre une thèse.

L'auteur, M. Willotte Ing. des Ponts-et-Chaussées, prétend démontrer que les vibrations de l'éther doivent être transversales quand même on n'aurait pas  $\lambda + 2\mu = 0$ .<sup>1</sup> Pour cela il se livre à des considérations infinitésimales, en regardant d'abord la longueur d'onde comme infiniment petite, cela dans le texte même de la thèse puis à un point de vue tout différent, en regardant la distance à la source comme très grande, cela dans une feuille volante annexée à la thèse. Ses raisonnements ne me semblent pas corrects ; si vous en jugez comme moi, je la ferai reprendre chez vous et reporter au Secrétariat.

Veuillez agréer l'assurance de mes sentiments les plus dévoués,

Poincaré

**ALS 2p. MS 4229, 257, Bibliothèque de l'Institut de France.**

<sup>1</sup>Henri Willotte (1854–1938), ancien élève de l'École polytechnique (1872), est ingénieur des ponts et chaussées. Il ne soutient pas de thèse dans le système universitaire français. En revanche, il publie un article sur le mouvement d'un solide plongé dans un fluide (1891; 1893; 1894), dont la thèse en question pourrait être une suite.

## 10.4 Poincaré à Boussinesq

[Après 05.1893]

Mon cher confrère,

Brillouin a parfaitement raison.<sup>1</sup>

Soit  $l$  la vitesse de propagation,  $r$  le rayon de la sphère.

Soit  $\varphi$  la fonction des vitesses. On doit avoir :

$$\Delta\varphi = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

pour  $r > l$  et

$$\frac{d\varphi}{dr} = \mathfrak{H} \quad (\text{pour } r = l)$$

$\mathfrak{H}$  fonction donnée du temps.

Il vient donc :

$$\varphi = \frac{\mathfrak{F}(t-r) + \mathfrak{F}_1(t+r)}{r}$$

Pour  $r > t + l$ ,  $t > 0$ ,  $\varphi$  doit être nul, ce qui exige que  $\mathfrak{F}_1 = 0$ .

Il reste donc :

$$\varphi = \frac{\mathfrak{F}}{r},$$



d'où

$$\frac{d\varphi}{dr} = -\frac{\mathfrak{F}'}{r} - \frac{\mathfrak{F}}{r^2}$$

et par conséquent pour  $r = 1$  :

$$\mathfrak{F}' + \mathfrak{F} = -\mathfrak{H},$$

j'écris les arguments<sup>a</sup>

$$\mathfrak{F}'(t-1) + \mathfrak{F}(t-1) = -\mathfrak{H}(t).$$

Pour  $t < 0$ ,  $\mathfrak{H}$  et  $\mathfrak{F}$  sont nuls. La période d'agitation du corps dure depuis  $t = 0$  jusqu'à  $t = T$ . A partir de l'époque  $T$ ,  $\mathfrak{H}$  est nul et le corps reste au repos.

L'équation nous donne :

$$\mathfrak{F}(t-1) = -e^{-t} \int_0^t \mathfrak{H}(t)e^t dt$$

Pour  $t > T$ , cela devient<sup>b</sup>

$$\mathfrak{F}(t-1) = -e^{-t} \int_0^T \mathfrak{H}(t)e^t dt.$$

La constante

$$\int_0^T \mathfrak{H}(t)e^t dt$$

que j'appellerai  $Ce$  ne sera pas nulle en général et il restera pour  $t > T$

$$\mathfrak{F}(t-1) = -Ce^{-t}$$

Pour  $r > 1$ ,  $t > T + r - 1$ , on aura

$$\mathfrak{F}(t-r) = -Ce^{-(t-r)}$$

et

$$\varphi = -\frac{C}{r}e^{-(t-r)}.$$

<sup>a</sup>Le manuscrit porte à cet endroit des traces de calcul et un dessin en crayon de main inconnue.

<sup>b</sup>Variante : "ou pour  $r > 1$ ,

$$\mathfrak{F}(t-r) = -e^{-(t-r)} \int_0^t \mathfrak{H}e^{t-r} dt$$

et

$$\varphi = -\frac{e^{-(t-r)}}{r} \int_0^t \mathfrak{H}e^{t-r} dt.$$

Pour  $t > T$ , il reste :

$$\varphi = -\frac{e^{-(t-r)}}{r} \int_0^T \mathfrak{H}e^{t-r} dt.$$

$\mathfrak{F}(t-r) =$

Pour  $t > T$ , cela devient ...".

Il y a donc un résidu ; mais il va sans dire que si les dimensions du corps sont petites, la décroissance sera extraordinairement rapide.

A vous de tout cœur,

Poincaré

**ALS 4p. MS 4229, 258, Bibliothèque de l'Institut de France.**

<sup>1</sup>Marcel Brillouin (1893a; 1893b) étudie le mouvement des solides au milieu des fluides. Il espère de trouver une explication de la structure de raies spectrales à travers la vibration des molécules dans l'éther. La théorie élastique de la lumière de Boussinesq (1893c; 1893b; 1893a) assimile l'éther, d'une part, à un fluide subtil, dans lequel les molécules des corps se déplacent, et d'autre part, à un solide élastique isotrope. Les notes de Boussinesq et de Brillouin sont présentées toutes les deux le 10.07.1893, mais le lien entre les deux reste implicite.

# Chapitre 11

## Édouard Branly

Édouard Branly (1844–1940) entre à l'École normale supérieure en 1865. Agrégé de sciences physiques et naturelles en 1868, il devient à la fin de l'année chef du laboratoire de physique de Paul Desains à la Sorbonne. Il soutient une thèse sur des phénomènes électrostatiques en 1873, et après avoir enseigné au Collège Rollin, devient professeur à la faculté des sciences de l'université catholique de Paris en 1876. Sans laboratoire, Branly ne publie plus de recherches jusqu'en 1887. Il envisage une chaire à la faculté de médecine, qui est dotée d'un laboratoire de physique, et entreprend ainsi des études de médecine de 1877 jusqu'en 1882, quand il soutient sa thèse de médecine. Ensuite, sa demande d'inscription au concours de l'agrégation de physique médicale est refusée par le doyen de la faculté de médecine, C.-M. Gariel (§ 24), comme le note Monod-Broca (1990, 138). Branly reprend la recherche vers 1886 à l'Institut catholique, où il dispose de deux pièces pour mener ses expériences. Il y découvre en 1890 un phénomène nouveau : la résistance d'un tube à limailles diminue brusquement lorsqu'une décharge électrique a lieu dans son voisinage. Le tube permet, en effet, la détection d'ondes électromagnétiques, comme celles mises en évidence par H. Hertz (Hong, 2001). Dans les premières années de la télégraphie sans fil, les tubes à limailles, ou “cohéreurs” sont employés dans les appareils récepteurs, avant d'être remplacés par des diodes. L'Académie des sciences reconnaît la contribution de Branly en lui décernant le prix Houllevigue en 1898 (Gauja, 1917 ; Terrat-Branly 1941 ; Monod-Broca, 1990 ; *Revue d'histoire des sciences* 46/1, 1993).

La correspondance entre Poincaré et Branly concerne la priorité de découverte de “l'effet Branly”. Quelques années après cet échange, Poincaré remarque (1907a, 33) que c'est la théorie du cohéreur d'Oliver Lodge qui a convaincu la plupart des physiciens, pas celle de Branly. Il suggère d'ailleurs que sans le cohéreur, il n'y aurait pas eu de télégraphie sans fil, mais que si Hertz n'avait connu le cohéreur au lieu du résonateur, il n'aurait pas pu mesurer les longueurs d'ondes électromagnétiques.

## 11.1 Poincaré à Branly

[Ca. 01–10.01.1902]

Monsieur,

Je ne comprends pas bien votre émotion.<sup>1</sup> En écrivant ma notice,<sup>2</sup> j'ai eu l'intention d'affirmer votre priorité et c'est ce que je crois avoir fait en écrivant que la découverte avait été faite indépendamment par M. Branly, puis par M. Lodge.<sup>3</sup>

Je croyais que Lodge avait commencé ses travaux sans connaître les vôtres d'après ce que vous m'écrivez cela ne serait pas exact, mais quand cela le serait, votre priorité n'en subsisterait pas moins entière.

Veillez agréer l'assurance de mes sentiments de haute estime et de ma considération.

Poincaré

Je ne crois pas que vous ayez aucune démarche à faire pour le moment. Si votre priorité était contestée, cela serait autre chose.<sup>4</sup>

**ALS 2p. 522 AP 10, Archives nationales, Paris. Un extrait est transcrit dans (Monod-Broca, 1990, 247).**

<sup>1</sup>La lettre de Branly nous manque.

<sup>2</sup>Poincaré (1902g) ; 1902h ; 1916–1956, X, 604–622. L'article de Poincaré mentionne les "deux inventeurs du tube à limaille," et un phénomène "découvert indépendamment par M. Branly en France, puis par M. Lodge en Angleterre" 1902h, 70, 67.

<sup>3</sup>Oliver Lodge (1851–1940), physicien et Principal de l'université de Birmingham depuis 1900.

<sup>4</sup>La réclamation de priorité de Branly est publiée dans les *Comptes rendus* par les soins de Poincaré le 13 janvier 1902 (Branly, 1902). Dans la troisième édition de son pamphlet sur la théorie de Maxwell, Poincaré reconnaît Branly comme le seul découvreur du cohéreur (1907a, 33).

## 11.2 Poincaré à Branly

[Ca. 01–10.01.1902]

Monsieur,

Je crois que le mieux, étant données les dispositions de M. Lodge, serait que je lui écrive pour lui demander de m'envoyer un mot que je pourrais publier dans les *Comptes Rendus*.<sup>1</sup> Si vous ne voyez pas d'inconvénient à me communiquer la lettre de M. Lodge d'où sont tirés les extraits que vous m'avez envoyés, il serait préférable de le faire, afin que je sache dans quel sens je dois lui écrire.<sup>2</sup>

Veillez agréer, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

Poincaré

**ALS 2p. 522 AP 10, Archives nationales, Paris.**

<sup>1</sup>Voir (§ 11.1). Lors de la séance du 13.01.1902, Poincaré communique uniquement la réclamation de Branly (Branly, 1902). Aucune communication de Lodge n'est parue aux *Comptes rendus* lors du premier semestre 1902.

<sup>2</sup>La réclamation de Branly publiée aux *Comptes rendus* se réfère à une lettre de Lodge du 08.01.1899, mais n'en cite pas d'extrait (Branly, 1902).

# Chapitre 12

## Marcel Brillouin

Marcel Brillouin (1854–1948) entre à l'École normale supérieure en 1874, et soutient deux thèses, en mathématiques (1880), et en physique (1882). Membre de la société française de physique en 1878, et agrégé-préparateur au Collège de France, Brillouin enseigne à la faculté des sciences de Nancy, puis à Dijon, et à Toulouse, avant de revenir à l'École normale supérieure en 1887. En 1900, avec l'appui de Maurice Levy il est élu à la chaire de physique mathématique au Collège de France, où son beau-père Élie Mascart (§ 39) occupe la chaire de physique générale et expérimentale. Il est élu à l'Académie des sciences en 1921, dans la section de physique générale (Brillouin, 1936 ; *DSB* ; Charle et Telkes, 1988).

Sa correspondance avec Poincaré concerne trois sujets dans un premier temps, au mois de mai 1891, et un seul des trois dans un second temps, au mois de mai 1892. Brillouin commence (§ 12.1) le premier échange avec un exemple de la propagation d'une sphère dans un fluide, telle que la pression à sa surface est nulle, et enchaîne avec une question à propos de la direction de la force électrique par rapport à la surface d'un conducteur isolé pour de courants périodiques de très courte durée. Poincaré répond (§ 12.2) à la dernière question, et aborde le troisième sujet, sur les perturbations de l'écoulement de l'eau au voisinage des piles d'un pont. Dans la troisième et dernière lettre de ce premier échange (§ 12.3), Brillouin aborde l'ensemble des trois sujets. L'échange de mai 1892, dont nous n'avons retrouvé que les lettres de Brillouin, concerne uniquement les ondes hertziennes.

### 12.1 Brillouin à Poincaré

PARIS LE Lundi 4 mai 1891

23 Rue de Sèvres – LABORATOIRE DE PHYSIQUE – ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE

Monsieur,

J'ai repris une idée ancienne, en sortant de chez vous, et puis vous fournir un exemple dans lequel les vibrations de condensation et de rotation se présentent ensemble pour satisfaire à la condition de pression nulle à la surface d'une sphère :

Soient  $\lambda, \mu$ , les coefficients de Lamé pour les corps isotropes, et soient  $\Omega_1, \Omega_2$  les vitesses de propagation des ondes de condensation et de rotation.

Posons<sup>1</sup>

$$P = A \frac{\epsilon^{in(t+\frac{r}{\Omega_1})}}{r} - A \frac{\epsilon^{in(t-\frac{r}{\Omega_1})}}{r} \quad Q = B \frac{\epsilon^{in(t+\frac{r}{\Omega_2})}}{r} - B \frac{\epsilon^{in(t-\frac{r}{\Omega_2})}}{r}.$$

$P$  et  $Q$  satisfont respectivement aux équations

$$\Omega_1^2 \Delta_2 P = \frac{\partial^2 P}{\partial t^2}, \quad \Omega_2^2 \Delta_2 Q = \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2}.$$

Prenons maintenant pour les déplacements

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{n^2}{\Omega_2^2} Q \\ v &= \frac{\partial^2 P}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial y} \\ w &= \frac{\partial^2 P}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial z}. \end{aligned}$$

On vérifie facilement qu'on a

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \Delta_2 P \\ \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} &= -\frac{n^2}{\Omega_2^2} \frac{\partial Q}{\partial x}, \dots \end{aligned}$$

et que  $u, v, w$  satisfont aux équations aux dérivées partielles internes.

En prenant les  $A, B$  indiqués, les parties réelles de  $P, Q$  ne comprennent au numérateur que les sinus de  $r$ , et restent finies à l'origine. Il en est alors de même des  $u, v, w$ .

Écrivons maintenant que les pressions normale et tangentielle à la surface d'une sphère de rayon  $a$  sont nulles, il vient pr.  $r = a$  qqsoit  $t$  (sauf erreur de calcul ?)

$$\begin{aligned} an^2 \left[ -\frac{\lambda P'}{\Omega_1^2} + \mu \frac{Q'}{\Omega_2^2} \right] + 2\mu a(P''' + Q''') - 2\mu(P'' + Q'') &= 0 \\ \frac{an^2 Q'}{\Omega_2^2} + 2(P'' + Q'') &= 0 \end{aligned}$$

en désignant par un, deux, trois accents les dérivées des divers ordres des fonctions  $P, Q$  par rapport à  $r$ .

Ces deux équations devant avoir lieu quel que soit  $t$ , se dédoublent chacune en  $(\sin nt)$  et en  $(\cos nt)$  ; elles fournissent quatre équations homogènes en  $A_1 A_2, B_1 B_2$ , qui déterminent les trois rapports et par la condition de compatibilité la valeur de  $n$  en fonction de  $a$  et de  $\lambda, \mu$  (ou  $\Omega_1 \Omega_2$ ).

Il ne me semble pas qu'ici l'on puisse séparer les conditions à la surface relatives à  $P$  et à  $Q$  ; les deux vibrations de condensation et de rotation sont liées l'une à l'autre par la condition à la surface.

Ceci n'est qu'un exemple, évidemment susceptible de généralisation ; mais pour le moment je suis trop occupé des théories électriques ; j'ai oublié de vous parler d'un point qui m'a beaucoup préoccupé depuis que j'étudie votre second volume ; c'est la question de la force électrique normale au conducteur quand les variations périodiques sont rapides.<sup>2</sup> J'en ai dit un mot dans le dernier numéro de la *Revue générale des Sciences*, mais qui est trop bref pour être tout à fait clair ; et je tiens à me faire une opinion nette, pour l'analyse que je compte donner au *Bulletin* de Mr Darboux, sur le degré de généralité et d'approximation de cette condition.<sup>3</sup> Il me semble qu'on peut la comparer à la condition de Bernouilli à l'ouverture d'un tuyau, (pression constante) et que, de même, l'approximation peut être médiocre ou excellente, suivant certains rapports de dimensions des longueurs d'onde et des conducteurs.<sup>4</sup>

Veuillez agréer, l'expression de mes sentiments respectueux.

Marcel Brillouin

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>La variable  $a$  représente le rayon de la sphère,  $r$  la distance au centre de la sphère,  $n = 1/T$  où  $T$  est la période des ondes de condensation et de rotation,  $u, v, w$  sont les déplacements.

<sup>2</sup>Poincaré (1890–1891, II, 228–234).

<sup>3</sup>Le 30 avril, Brillouin (1891a) met en cause l'idée que la force électrique dans l'isolant doit aboutir normalement à la surface du conducteur, mais après réflexion, et des remarques de Poincaré (§12.2), il retire son objection ; voir (1891b, 141n1), publié en juin.

<sup>4</sup>A ce propos, voir (§ 30.3).

## 12.2 Poincaré à Brillouin

[Ca. 05.1891]<sup>a</sup>

Cher Monsieur,

Merci de votre exemple ;<sup>b</sup> je crois qu'il est enseignable très facilement.

J'ai réfléchi à ce [que] vous m'aviez dit au sujet des Strahlen et des piles de pont ; mais permettez-moi avant de vous donner une réponse définitive d'y penser encore quelque

<sup>a</sup>Le manuscrit porte trois annotations de Brillouin : "Printemps de l'année où P a enseigné l'élasticité", une mention bibliographique : "Historique – Colley 1885 ; W. Ann T 26. p. 432 ; Von Bezold 140 – 1870.541", et une troisième annotation que nous indiquons par la suite.

Le cours d'élasticité de Poincaré a lieu lors de l'année universitaire 1890–1891, pendant le deuxième semestre. En ce qui concerne les références, voir Colley (1885) ; Von Bezold (1870).

<sup>b</sup>Une croix sur le manuscrit renvoie à cette annotation marginale de Brillouin : "Ex. de vibrations de condensation et de rotation simultanés per null dz cond. à la surface sphère". Il s'agit de l'exemple que Brillouin a envoyé à Poincaré (§ 12.1).

temps, je ne suis pas sûr que le problème soit impossible.<sup>1</sup> Seulement je ne puis éviter la présence d'un point où la vitesse serait infinie ce qui ne semble guère admissible. Tout semble se ramener à l'étude de l'intégrale

$$\int \frac{dz}{(z-a)^2(z-b)^2\sqrt{(z-c)(z-d)}}$$

mais je n'en suis pas encore sûr.

Une chose dont je voudrais me rendre compte, c'est si on ne pourrait pas remplacer le point de vitesse infinie dont je ne puis me débarrasser par un petit tourbillon stable où la vitesse serait partout finie.

Quant à la question de la perpendicularité des lignes de force aux conducteurs, je crois qu'il vous est aisé de vous éclairer là-dessus en écrivant les équations de Hertz dans son mémoire des *Göttinger Annalen* et en passant à la limite.<sup>2</sup> Mais il y a toujours eu là-dessous quelque chose qui me chiffonne.

Si on prend des courants ordinaires, les lignes de force ne sont pas normales aux conducteurs et tous les phénomènes dépendent de la conductibilité de ces conducteurs.

Si on prend des courants hertziens, la théorie exige que les lignes de force soient normales aux conducteurs et l'expérience nous apprend en tout cas que deux conducteurs différents se comportent de la même manière quelle que soit leur conductibilité.

Si ensuite on prend des oscillations encore plus rapides c'est à dire la lumière, on arrive aux phénomènes de la réflexion métallique et on voit que la nature du conducteur influe de nouveau sur les phénomènes.

Pourquoi influe-t-elle sur les oscillations très lentes ou très rapides et n'influe-t-elle pas sur les oscillations de période moyenne ?

Votre dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 3p. MS5591, 218, Bibliothèque de l'Institut de France.**

<sup>1</sup>Il s'agit des perturbations de l'écoulement de l'eau (*Wasserstrahlen*) au voisinage des piles d'un pont.

<sup>2</sup>Hertz (1890b). Brillouin (1891a) soulève cette question ; voir également (§ 12.1).

## 12.3 Brillouin à Poincaré

Paris Samedi matin [Ca. 30.04–31.05.1891]

Cher Monsieur,

Je me suis aperçu que les conditions que je vous ai indiquées pour le problème de vibration ne sont pas suffisantes pour rendre la vibration finie et *déterminée* en direction du centre de la sphère.<sup>1</sup> Il faut absolument exclure le centre de la sphère, et prendre une enveloppe sphérique ; et encore dans ce cas, il me reste un doute sur la compatibilité de toutes les équations de condition à la surface tant interne qu'externe ; il me semble pourtant qu'elles doivent l'être, mais je n'ai pas le temps de m'en occuper en ce moment.



Je vous remercie des renseignements que vous me donnez sur l'écoulement.<sup>2</sup> Mais est-ce un petit tourbillon, ou n'est ce pas plutôt, une source de liquide (simple ou double ?) qu'il vous faut mettre au point gênant ? Et cela changerait notablement le problème.

Pour la force normale aux conducteurs, je crois bien maintenant que l'approximation est *en général* excellente pour des périodes  $10^{-8}$ , environ ; et ayant attaqué la question par une toute autre voie que celles que vous avez publiées, je rencontre naturellement des conditions d'exception, assez grossières à la vérité, mais qui font néanmoins bien voir pourquoi cette propriété n'est plus applicable à la réflexion des ondes planes lumineuses par exemple, et dans quelques autres cas.<sup>3</sup>

Veuillez agréer l'expression de mes sentiments dévoués.

M. Brillouin

**ALS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Voir (§ 12.1).

<sup>2</sup>Voir (§ 12.2).

<sup>3</sup>Voir le compte-rendu de Brillouin (1891a), publié le 30 avril, et sa volte-face dans un deuxième compte-rendu publié un mois plus tard (1891b, 141–142).

## 12.4 Brillouin à Poincaré

[Ca. 10–17 mai 1892]

LABORATOIRE DE PHYSIQUE – ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE

Monsieur,

Je viens de lire votre communication du 9 mai.<sup>1</sup> Ce n'est pas étonnant que vous ne trouviez pas d'amortissement ; en choisissant pour le courant dans le fil à la distance  $u$  de l'origine la forme  $F(u - t)$ , vous supposez implicitement, si je ne me trompe, cette absence d'amortissement.<sup>2</sup> La solution que vous indiquez ne doit pas satisfaire à la condition que l'énergie totale à l'époque  $t$  soit égale à celle qui a été fournie à l'origine depuis l'époque 0 jusqu'à l'époque  $t$ , à moins que la fonction  $F$  ne soit convenablement choisie, et cette condition à laquelle vous n'avez pas soumis la fonction  $F$ , aura vraisemblablement pour conséquence, que l'énergie doit être fournie à un certain taux par seconde à l'origine pour que le courant ne dépende que de  $u - t$ , et cela déterminera la fonction  $F(-t)$  à l'origine, probablement périodique sans oscillation.

Pour conserver à la fonction  $F(t)$  à l'origine son caractère arbitraire, il faut prendre le courant à distance  $u$  dans le fil, et à l'époque  $t$  sous la forme  $F(u - t, t)$  ou  $F(u - t, u)$  par exemple, et écrire la condition dont je viens de parler que l'énergie *totale*, tant électrostatique qu'électromagnétique (en négligeant la quantité transformée en chaleur par la loi de Joule) dans tout l'espace, est égale à celle introduite de 0 à  $t$  à l'origine, et cela fournira une équation, donnant le taux d'amortissement, pour chaque forme de  $F$  à l'origine.<sup>3</sup>

Veuillez agréer l'expression de mes sentiments respectueux.

M. Brillouin

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1892f).

<sup>2</sup>Le 01.02.1892, René Blondlot signale à Poincaré (§ 9.3) qu'un fort amortissement se produit le long du fil conducteur. Dans sa note, Poincaré reconnaît que son analyse de la propagation des ondes ne rend pas comptes de ce phénomène.

<sup>3</sup>Poincaré répond à l'objection de Brillouin par lettre et par une note (1892e) présentée à l'Académie des sciences le 30.05.1892. La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée ; en revanche, la réponse de Brillouin a été conservée (§ 12.5).

## 12.5 Brillouin à Poincaré

Paris, le 18 mai 1892

LABORATOIRE DE PHYSIQUE – ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE  
Viroflay—Impasse Dupin—Villa Martinot

Cher Monsieur,

Je me doutais bien que la condition dont je vous parlais et celle que les lignes de force aboutissent normalement au fil devaient être identiques ; mais je ne l'avais pas vu nettement.<sup>1</sup> Je ne demande pas mieux que de vous voir traiter la question en seconde approximation, avec ou sans allusion à ma lettre selon que vous le jugerez à propos.<sup>2</sup>

C'est faute d'avoir le temps de causer avec vous, parce que j'habite actuellement les environs de Paris, que je vous ai écrit ces quelques mots, qui ont bien mal traduit ma pensée à ce qu'il paraît, à votre première phrase. Je me féliciterais bien d'être bête de pareille façon.

Veuillez agréer l'expression de mes sentiments respectueux.

M. Brillouin

### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Brillouin répond à une lettre de Poincaré qui n'a pas été retrouvée, mais qui devait apporter une réponse à l'objection énoncée par Brillouin (§ 12.4) suite à sa lecture de la note de Poincaré du 9 mai 1892f. A propos de la direction des lignes de force, voir aussi (§ 12.1), (§ 12.2), et (§ 12.3).

<sup>2</sup>Poincaré 1892e fait une paraphrase de la lettre de Brillouin (§ 12.4) :

M. Brillouin m'a écrit alors pour me faire part de certaines observations : "Ne pourrait-on se demander, disait-il en substance, si la solution que vous proposez n'est pas en contradiction avec le principe de la conservation de l'énergie, ce qui expliquerait l'amortissement et permettrait de le calculer ?" Il est aisé de voir que cette contradiction n'existe pas et que, si les lignes de force aboutissent normalement aux conducteurs, il y a conservation de l'énergie. En effet, d'après le théorème de Poynting, la quantité d'énergie qui traverse un élément de surface est égale au produit de la surface de cet élément, de la composante tangentielle de la force magnétique, de celle de la force électrique et du cosinus de l'angle de ces deux composantes. Or, si les lignes de force sont normales aux conducteurs, la quantité d'énergie qui traverse la surface de ces conducteurs est nulle parce que l'un de ces facteurs, à savoir la composante tangentielle de la force électrique, est toujours nul. Ma conclusion subsiste donc, mais la lecture de la lettre de M. Brillouin m'a suggéré une manière simple de tenir compte du diamètre du fil.

Poincaré clôt sa note en faisant appel aux expérimentateurs pour vérifier les conséquences de sa théorie de l'amortissement. Cet appel est entendu en décembre 1892 par Alfred Perot (§46), qui apporte une confirmation de sa théorie (1892b).

## Chapitre 13

# Auguste Calinon

Auguste Calinon (1850–1900) est né en Lorraine, et fait ses études à l'École polytechnique. Tout en occupant le poste de chef de correspondance aux Forges de Pompey (Meurthe-et-Moselle), Calinon se distingue par ses travaux sur la mécanique, la géométrie et la philosophie, travaux qui lui permettront de devenir membre titulaire de la société des sciences de Nancy le 1<sup>er</sup> mai 1885.

Auteur de différentes études sur la mécanique et la géométrie, inspirateur de Georges Lechalas, Calinon est de ces penseurs qui tentèrent de fonder un mathématique philosophique, c'est-à-dire une discipline dans laquelle les méthodes et les appareillages classiques d'une théorie mathématique sont mises au service d'une problématique explicitement épistémologique portant "sur les conditions de possibilité d'une théorie générale des déterminations de l'espace."<sup>1</sup> Il conçoit ainsi une "géométrie générale" ayant pour objectif de penser la géométrie euclidienne comme un cas particulier d'une géométrie générale, comprenant toute géométrie possible et établie grâce à des considérations purement a priori. Une telle géométrie devait permettre, selon lui, d'invalider la thèse affirmant que la géométrie euclidienne est la seule véritable géométrie possible, sans pour autant mettre en cause l'idée que le privilège de la géométrie euclidienne est dû à des raisons empiriques.

La correspondance présentée ici traite d'un tout autre problème.<sup>2</sup> Désireux sans doute de voir ses travaux scientifiques reconnus par la communauté scientifique parisienne, Calinon s'adresse à Poincaré (avec qui il semble entretenir des rapports amicaux) pour lui présenter son "Étude critique sur la mécanique" (1885). Dans cette étude, Calinon porte son attention sur les principes de la mécanique rationnelle et il dresse la conclusion suivante à ce sujet (p. 180) :

En résumé, ce qu'il faut retenir de cette conception, c'est qu'il existe une mécanique rigoureusement rationnelle, véritable géométrie du mouvement qui subsisterait dans toutes ses conséquences quand bien même l'univers cesserait d'exister ou existerait autrement.

L'univers n'est qu'une application particulière et très limitée de cette

mécanique qui ne dépend en rien des faits observés et nous aide au contraire à les prévoir et à les expliquer.

## Notes

<sup>1</sup>Cité par Panza (1995, 54). On trouvera dans le texte de Panza de nombreuses indications sur les conceptions de Calinon.

<sup>2</sup>Rollet (2001) analyse en détail ces deux lettres de Calinon.

## 13.1 Calinon à Poincaré

Pompey 9 août 1886

Monsieur H. Poincaré – Ingénieur des Mines

Monsieur et Cher Camarade,

Comme suite à notre rencontre d’hier je vous adresse par ce courrier mon « Étude Critique sur la Mécanique ». Je crois que cette petite brochure vous intéressera, car vous avez un peu touché le même sujet dans la note que vous avez ajoutée à la *Monadologie* de Leibnitz publiée par M. Boutroux.<sup>1</sup>

Aussi serais-je très heureux d’avoir votre appréciation sur ma manière d’exposer la Mécanique.

Un petit compte rendu de mon travail a déjà paru dans un feuillet scientifique du « *Temps* », à la fin de Décembre. M. J. Tannery (Sous-Directeur de l’École Normale) a fait aussi un compte rendu qui doit être inséré ce mois-ci dans le *Bulletin* de M. Darboux : l’épreuve vient de m’être envoyée par l’auteur.<sup>2</sup>

Enfin j’avais envoyé à M. P. Tannery (Ingénieur des Tabacs) que vous connaissez sans doute de nom, un article dans lequel j’ai essayé d’exposer les mêmes idées que dans mon livre mais à un point de vue plus spécialement philosophique et sans formules.<sup>3</sup> M. Paul Tannery vient de m’annoncer que cet article serait inséré dans la *Revue Philosophique* de M. Ribot, probablement au mois de janvier prochain.<sup>4</sup>

Dans l’attente de votre réponse, je vous prie de croire, Monsieur et Cher Camarade à mes meilleurs sentiments.

A. Calinon

### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Poincaré (1881). Émile Boutroux (1845–1921), Chargé de cours de philosophie à la Sorbonne, et beau-frère de Poincaré.

<sup>2</sup>Voir la réédition dans (Tannery, 1911). Jules Tannery (1848–1910), Maître de conférences de mathématiques à l’École normale supérieure ; Gaston Darboux (1842–1917), professeur de géométrie supérieure à la Sorbonne, et co-fondateur en 1869 (avec Jules Hoüel) du *Bulletin des sciences mathématiques*.

<sup>3</sup>Frère aîné de Jules Tannery, Paul Tannery (1843–1905) est administrateur au sein des Manufactures nationales de tabac. Parallèlement à ses activités professionnelles, il écrit de nombreux livres sur l’histoire des mathématiques et l’histoire de la philosophie.

<sup>4</sup>Théodule Ribot (1839–1916) est fondateur en 1876 de la *Revue philosophique de la France et de l’étranger*, organe mensuel librement ouvert à toutes les doctrines, qu’il dirigera jusqu’à sa mort. Il enseigne la psychologie expérimentale à la Sorbonne jusqu’en 1888, quand il est élu au Collège de France. A partir de 1892, il organise avec G. Le Bon (§ 35) des déjeuners mensuels fréquentés par Henri Poincaré et son cousin Raymond.

## 13.2 Calinon à Poincaré

Pompey 15 août 1886

Mon cher Camarade,

J'ai bien reçu votre lettre dont le contenu m'a beaucoup intéressé.

Les objections que vous me faites ne portent que sur des points qui me paraissent secondaires ; je vais cependant y répondre pour bien préciser ces points qui ne sont peut-être pas assez développés dans ma brochure.

1° Sur la notion de "à la fois" j'accepte votre restriction qui était bien dans ma pensée : comme je le dis (N° 5), ce sont nos sensations seulement que nous jugeons simultanées ou successives ; mais entre le phénomène extérieur et la sensation par laquelle il arrive à notre conscience, il y a presque toujours un délai.<sup>1</sup>

2° Je ne saisis pas bien votre objection sur ma manière de définir la position d'un point ; vous me dites que je définis un point par ses distances à d'autres points *supposés fixes* ; mais non, je ne suppose pas de points fixes, je suppose seulement (N° 2) des points constituant une figure de forme invariable et c'est à cette figure que je rapporte mon point mobile.<sup>2</sup> La notion des figures égales est antérieure à toute mesure des grandeurs qui entrent dans ces figures : or à quoi revient cette notion ? à dire que nous concevons qu'une figure peut changer de place sans changer de forme ; sans ce principe il nous est impossible de faire de la géométrie et de démontrer, par exemple, les cas d'égalité des triangles. Maintenant je ne nie pas que ce principe n'intéresse, dans une certaine mesure, la Mécanique.

3° Pour l'angle de la rotation de la Terre, je suis bien de votre avis ; il faut tenir compte de certaines corrections infinitésimales connues actuellement ou que nous connaissons plus tard.

4° J'ai admis en effet comme exact le principe des actions mutuelles dirigées suivant la droite qui joint les points en présence, parce que, quand j'ai écrit ma brochure, je croyais réellement ce principe vérifié ; depuis, j'ai su qu'il y avait des exceptions, celle que vous m'indiquez d'abord, d'autres ensuite, comme dans le cas des actions exercées dans les courants électriques ou magnétiques ; il y a là des petits termes de correction à ajouter aux formules. Mais je vous ferai remarquer que, sans connaître ces corrections, je les avais prévues lorsque je disais (N° 138) : "Cette loi générale (la loi  $m_j = m_1 j_1$ ) peut toujours être considérée comme une série à termes indéfiniment décroissants ; nous connaissons aujourd'hui le premier terme de la série ..." <sup>3</sup> Voilà qui va même bien au delà de la réserve que vous formulez. Tout ce passage (N° 138) répond également à ce que vous me dites de la masse : j'ajouterai que la masse n'est nullement liée d'une façon indissoluble à la loi  $m_j = m_1 j_1$ . Cette loi peut n'être pas vérifiée et cependant la masse garder encore la définition générale que je lui ai donnée (N° 83) : "Les masses sont des coefficients numériques fixes attachés aux points et dont dépend le mouvement de ces points, pour des repères et une variable principale quelconques."<sup>4</sup> Au fond, cette constance d'un nombre pour chaque point matériel n'est pas autre chose que le principe de la conservation de la matière : ce principe comporte d'ailleurs les mêmes réserves philosophiques que tous les principes *observés* lesquels ne sont vrais que dans la mesure de précision de nos méthodes et de nos instruments.

Mais, comme j'ai commencé par vous le dire, ces points sont un peu secondaires pour moi : en somme les deux idées fondamentales de mon travail sont les suivantes :

1° la transposition en Géométrie pure de toutes les notions premières de la Mécanique (mesure du temps, vitesse, accélération, force, masse), notions qu'on avait crues jusqu'ici inséparables de la matière, (la force notamment).

2° le choix raisonné de la variable  $t$  qui sert à mesurer le temps et la distinction des théories où le choix est arbitraire de celles où il s'impose pour la simplification des formules.

Je vois que, sur ces deux idées fondamentales, vous acceptez ma manière de voir et j'en suis très heureux. J'ignore si les idées de Duhamel sont plus ou moins adoptées en France, mais, ce que je sais, c'est que, à côté des adhésions que je reçois relativement à mes idées sur le Temps et la Force, je rencontre de la part de quelques professeurs, mêmes distingués, des résistances obstinées ; il y a là quelques esprits qui refusent absolument de réviser les idées acquises et qui répugnent à soumettre à un examen philosophique des notions qu'ils ont toujours considérées comme évidentes.<sup>5</sup>

J'espère donc que vous voudrez bien m'aider, dans la mesure où cela dépend de vous, à propager des idées que vous trouvez justes.

Votre dévoué Camarade,

A. Calinon

**ALS 4p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Calinon (1885, 88–89).

<sup>2</sup>Calinon (1885, 87–88).

<sup>3</sup>Calinon (1885, 178–179). Il s'agit pour Calinon du principe de réaction (p. 140) ;  $j$  et  $j_1$  représentent l'accélération des masses  $m$  et  $m_1$ , respectivement. Calinon admet que la position des étoiles fixes définit le repère de validité de sa formule.

<sup>4</sup>Calinon (1885, 140).

<sup>5</sup>Jean-Marie-Constant Duhamel (1797–1872) entre à l'École Polytechnique en 1814, et enseigne les mathématiques et la physique à l'institut Massin ainsi qu'au collège Louis-le-Grand. De 1830 à 1869 il enseigne diverses disciplines à l'École polytechnique (géodésie, analyse, mécanique), où il est nommé directeur des études en 1844. Il enseigne également à l'École normale supérieure et à la Sorbonne.

# Chapitre 14

## Emmanuel Carvallo

Emmanuel Carvallo (1856–1945) fait ses études à l'École polytechnique (1877), comme son père et ses frères Joseph (1873) et Julien (1883). Il soutient une thèse de mathématiques sur l'optique théorique à la Sorbonne en 1890, dont Poincaré rédige le rapport officiel (§ 62.1). La même année, Carvallo devient examinateur en mécanique à l'École polytechnique. Membre de la société mathématique de France et de la société française de physique, Carvallo enseigne des cours d'électricité à l'École pratique d'électricité industrielle, et entre 1909 et 1920 il est directeur d'études à l'École polytechnique. Sa correspondance avec Poincaré porte sur sa candidature à la chaire de physique à l'École polytechnique, laissée vacant par le décès d'Alfred Cornu (§ 16).

### 14.1 Carvallo à Poincaré

Paris, le 29 octobre 1902

ÉCOLE POLYTECHNIQUE — 1, rue Clovis

Cher Maître,

Vous êtes assez grand garçon pour avoir votre opinion sans aller la prendre chez M. Potier, et vous avez trop de loyauté pour ajouter votre autorité à celle déjà très autorisée d'un autre, sans qu'elle sorte entièrement de vous, après examen approfondi.<sup>1</sup>

Lisez donc les trois premières leçons que je vous remets. Elles demandent à être non parcourues, mais approfondies et discutées ensuite point par point, critique par critique. Autrement, vous ajouterez par légèreté une mauvaise action scientifique à celle de M. Potier que je ne veux pas qualifier parce que j'en suis encore trop ému pour la juger de sang froid.<sup>2</sup>

M. Potier suit mon travail depuis plus de 15 jours, leçon par leçon, ayant accepté de m'éclairer de sa critique et de son savoir. Non seulement il ne m'a pas fait de critique, mais avant-hier, à 11 heures, il m'a déclaré n'avoir aucune critique à faire à ces leçons. A deux heures, à la commission, son esprit subtil avait découvert des critiques que je déclare fausses.

Vous ne ferez pas par légèreté ce que M. Potier a fait, je ne sais pour quelle cause. Examinez, notez vos critiques une à une. Quand elles seront prêtes, étudiées, dites les moi. Nous les discuterons. Vous savez que nous avons assez de savoir, de clairvoyance et de sincérité pour tomber de suite d'accord, puisqu'il en a toujours été ainsi entre nous.

Alors trois cas pourront se présenter.

1° J'aurai raison sur le fond et dans le détail, et vous me soutiendrez.

2° Vous aurez raison dans des questions de détail. Nous verrons, moi si je dois me retirer, et vous me soutenir.

3° Le fond même sera reconnu mauvais, et je retirerai ma candidature.

Voilà ce qui doit être entre gens de notre espèce, sincères, éclairés et conscients.

Recevez, cher maître, l'assurance de ma sincère affection.

E. Carvallo

### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Emmanuel Carvallo est candidat à une chaire de physique à l'École polytechnique laissée vacante par le décès d'Alfred Cornu. Sa candidature et celle d'Auguste Lafay sont discutées lors du conseil d'instruction de l'École polytechnique le 28.10.1902. Alfred Potier (§48), professeur de physique de l'École jusqu'en 1894, et son successeur Henri Becquerel s'opposent à la candidature de Carvallo (Procès-verbal du conseil d'instruction, Archives de l'École polytechnique). Poincaré, quant à lui, fut nommé par l'Académie des sciences en 1902 au conseil inférieur, le "Conseil de perfectionnement" (*Jahresberichte der Deutsche Mathematiker-Vereinigung* 11, 155). A propos de la candidature de Carvallo voir aussi les lettres de H. Becquerel (§4.9) et de R. Blondlot (§9.14). La chaire de physique sera accordée à Lafay (1866–1944), polytechnicien (1885) et ancien élève de Georges Gouy.

<sup>2</sup>Il est sans doute question ici de l'enseignement par Carvallo de l'électrodynamique, sujet sur lequel Carvallo publie, entre 1900 et 1904, plusieurs notes dans les *Comptes rendus*, ainsi que deux livres (1902a; 1904). Les critiques faites par Potier et H. Becquerel des cours d'électromagnétisme de Carvallo (voir la note *supra*) rejoignent celle de A. Liénard (1902), qui conteste chez Carvallo son analyse lagrangienne de l'électrodynamique des corps en mouvement (1902a).



# Chapitre 15

## Alphonse Combes

Alphonse Combes (1854–1907) fait ses études avec Poincaré à l'École polytechnique (promotion de 1874), tout comme son grand-père Charles Combes (1801–1872). Il devient membre de la société française de physique, et professeur de chimie industrielle à l'École municipale de physique et de chimie de Paris. Charles Combes fut professeur à l'École des mines de Paris, où Poincaré étudiait de 1875 à 1878. En 1840, il publie un traité d'aéragé qui donnera lieu à la lettre que son petit-fils Alphonse écrira à Poincaré.

### 15.1 Combes à Poincaré

[Ca. 1875–1907]  
S<sup>t</sup> Hippolyte 19<sup>1</sup>

Cher Monsieur,

Le Supplément au Traité d'aéragé que vous m'avez demandé est extrait du tome XVIII de la 3<sup>e</sup> Série des *Annales des Mines* (année 1840) les mémoires qui comprennent le Traité d'aéragé se trouvent également dans les *Annales* tome XIII–XV.<sup>2</sup>

Si vous n'avez pu vous procurer le volume des *Annales* que je vous indique à mon retour à Paris dans une huitaine je vous donnerai la brochure.

Agréé je vous prie l'assurance de ma respectueuse considération.

A. Combes

Ancien élève de l'École Polytechnique

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Alphonse Combes est né à Saint-Hippolyte (Gard).

<sup>2</sup>Combes (1840).

## Chapitre 16

# Alfred Cornu

Alfred Cornu (1841–1902) entre à l'École polytechnique en 1860, et la sortie il continue ses études à l'École des mines. En 1864 il devient répétiteur à l'École polytechnique, avant de soutenir sa thèse en 1867 sur la réflexion cristalline. La même année, Cornu succède à Émile Verdet comme professeur de physique à l'École polytechnique, où Poincaré sera son élève. Il devient membre de la section de physique générale à l'Académie des sciences en 1878, et entre au bureau des longitudes en 1886. Cornu est réputé pour ses mesures de la vitesse de la lumière ; ses travaux sont couronnés par la médaille Rumford de la société royale de Londres.<sup>1</sup>

La lettre de Cornu à Poincaré transcrite ici concerne un différend à propos de l'interprétation de l'expérience d'Otto Wiener (1890). Cornu trouve d'abord qu'elle “renverse définitivement” la classe de théories optiques dans laquelle les oscillations lumineuses ont lieu dans le plan de polarisation, et qu'elle confirme en même temps celle dans laquelle ces oscillations ont lieu dans le plan orthogonal au plan de polarisation (1891b). Autrement dit, aux yeux de Cornu, l'expérience de Wiener est ce que Poincaré appellera plus tard une expérience cruciale, qui permet de décider entre des options théoriques.<sup>2</sup> Selon Poincaré, l'analyse de Cornu admet que l'amplitude des vibrations des molécules matérielles est la même que celle des molécules de l'éther, ce qui n'est “rien moins que certain” (1891f, 327).

Cornu (1891a) ne se laisse pas convaincre, et tente de faire valoir un point de vue plus “physique” de la question :

... il paraît utile de bien préciser le caractère général des objections qu'on peut opposer à l'interprétation de l'expérience principale de M. Wiener, en la dégageant de la forme purement analytique sous laquelle notre savant Confrère les a présentées. Je demande donc à l'Académie la permission de développer brièvement dans le langage des physiciens les arguments implicitement contenus dans l'Analyse de M. Poincaré ; j'espère que la présente Note et celle de M. Potier feront évanouir dans l'esprit de notre Confrère les doutes qui pourraient encore subsister sur la direction des vibrations dans la lumière polarisée.

Deux jours plus tard, Cornu donne raison à Poincaré : l'expérience de Wiener ne peut décider la question. Dans un esprit d'apaisement, Poincaré admet qu'en principe, une décision est possible entre les théories de Fresnel, MacCullagh, et F. Neumann.

## Notes

<sup>1</sup> Sur la vie de Cornu voir le *DSB*, les notices de Poincaré (1902b ; 1902a, 81–82), et la lettre de Poincaré à C.-M. Gariel (§ 24.1).

<sup>2</sup> L'avis de Cornu est partagé par Alfred Potier (1891a; 1891b) ; voir aussi (§ 48).

## 16.1 Cornu à Poincaré

Paris, le 18 février 1891  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Mon cher Confrère,

En revoyant les expériences de Wiener, et la note de Mr. Potier, j'ai vu qu'il n'est nul besoin d'invoquer le cas général des théories de la réflexion sur un milieu transparent, l'expérience décisive ayant été faite sur l'argent poli.<sup>1</sup>

Dans ce cas il paraît difficile de contester avec le principe de continuité commun aux deux théories que la vibration change de signe par réflexion sous l'incidence normale.<sup>2</sup>

Il a donc suffi de restreindre la généralité des considérations que j'avais présentées pour rester correct : c'est ce qui m'a décidé à corriger ma note & à l'envoyer définitivement aux *Comptes Rendus*.<sup>3</sup>

Je saisisrai l'occasion de dire devant l'Académie que l'objection que vous m'avez faite était parfaitement fondée.

Votre dévoué Confrère,

A. Cornu

### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Wiener (1890); Potier (1891b).

<sup>2</sup> Selon Poincaré (1891b) l'emploi du principe de continuité rend illégitime l'attribution à l'argent poli d'un pouvoir réflecteur égal à 1, parce que dans ce cas "la limite d'une fonction discontinue peut très bien être une fonction discontinue".

<sup>3</sup> Cornu (1891b,a), notes présentées le 26.01 et le 16.02.1891, et rééditées dans Poincaré, 1916–1956, X, 278). La deuxième note de Cornu répond à la note de Poincaré 1891f, présentée le 09.02.1891, dans laquelle il signale que "le doute reste permis" en ce qui concerne la confirmation par les expériences d'Otto Wiener de la théorie de Fresnel au dépens de celle de Franz Neumann. Dans sa note du 16 février, Cornu prétend employer le "langage des physiciens" afin de développer les "arguments implicitement continus dans l'Analyse de M. Poincaré". Poincaré (1891b) reprendra la question devant l'Académie le 2 mars.

## Chapitre 17

### Victor Crémieu

Victor Crémieu (1872–1935) was born in Avignon, and obtained the Ph.D. in physics at the Sorbonne under Gabriel Lippmann's direction in 1901. As a result of his experimental investigations of rotating electrified disks, Crémieu was led at first to deny the existence of a magnetic effect of convected electricity, predicted by Faraday and Maxwell, and first detected in 1876 by Henry Rowland. Crémieu later recognized the reality of Rowland's effect, attributing his null results to an unsuspected masking phenomenon. He went on to perform delicate, but ultimately inconclusive experiments on gravitational attraction, and in later life found employment in private industry.<sup>1</sup>

Much of the Crémieu-Poincaré correspondence concerns Crémieu's attempts between 1901 and 1903 to detect a magnetic action of electrical convection. Rowland's effect, cast in the framework of Maxwell's theory originally by J.J. Thomson in 1881, and with greater rigor by Oliver Heaviside in 1889, assumed significance for electrodynamics only with the rise of atomistic theories, accelerated by the discovery of the electron in 1897. The Maxwellian view of electric current as decay of electric polarization gave way, with the rise of atomistic electrodynamics in the 1890s, to a conception of charged particles moving in empty space, of which Lorentz's theory was the leading example.<sup>2</sup> It was at this time that Crémieu began his doctoral research at the Sorbonne. On the advice of his supervisor Gabriel Lippmann, Crémieu took up the study of electrical convection, but was unable to reproduce Rowland's celebrated result, and concluded that a convected current had *no* magnetic effect, contrary to the provisions of Lorentz's electron theory. In fact, Crémieu claimed that he had realized an open conduction current, of the sort ruled out by Maxwell's theory of the electromagnetic field, but allowed in the alternative theories of Wilhelm Weber, Franz Neumann and Hermann von Helmholtz.

Poincaré, who was by this time the leading French authority on electrodynamics, took an interest in Crémieu's experiments.<sup>3</sup> Maxwell's theory had found strong confirmation in Heinrich Hertz's famous experiments with electromagnetic waves, and Poincaré had played an important part in this process by contributing a theory of the resonator. Several electrodynamicists, including Hertz, had attempted to apply Maxwell's theory to matter in motion. Hertz's theory of the electrodynamics of moving bodies, however, assumed in

effect that the carrier of electromagnetic effects—the ether—was completely convected by matter in motion. Hertz (1890a, 398) admitted the implausibility of his constraints, a limitation which partially rectified by a different, and more successful theory elaborated by Lorentz. Here it was assumed that a dielectric in motion carried with it not the ether, but electrons. Lorentz's theory, like Hertz's, could account for the experimental results of both Röntgen and Rowland. Despite its status as a crucial test of the leading candidate for a final theory of physics, in the laboratory, Rowland's effect had been established qualitatively at best.<sup>4</sup>

Before Crémieu took up the problem, the magnetic effect of a charged particle in motion was borne out by a series of observations : spark discharge showed such an effect (assuming material particles from the electrode carry charge to the anode), as did ionic currents in electrolysis (assuming ions to be charge carriers), and cathode rays (assumed to be composed of charged particles). Rowland's experiment required no special assumptions concerning the charge carrier, and assumed a particular epistemological status. For Maxwellians, the Rowland effect was not a major concern, although there were differences on how to calculate the self-energy of a charged sphere in motion (Buchwald 1985, 273). What Rowland's experiment indicated to the Cambridge theorist Joseph Larmor (§ 34), however, was the discrete nature of electrical current, made up of electric charges in motion (Whittaker, 1951–1953, I, 365). Larmor convinced himself—and many others—that Rowland's result could not be accounted for by Maxwell's theory, and required a theory of the electron, such as he proposed.<sup>5</sup> The discovery of the electron and the Zeeman effect provided further arguments for an atomistic view of electricity. In the face of evidence amassed in favor of a magnetic effect of convected charge, most physicists naturally assumed there to be errors in Crémieu's laboratory setup, his physical reasoning, or both. This high degree of confidence in both the reality of the effect and its necessity from a Maxwellian standpoint meant that Crémieu's work was unlikely to be given a hearing—let alone an objective evaluation—without the assistance of a leading scientist. Poincaré assumed this role with relish, observing wryly that many of Crémieu's skeptics were English. Young Crémieu's work was to be judged on its merits alone, in other words (1901b, 410). Prominent among the skeptics was Larmor, Britain's leading expert on electron theory, who prompted H.A. Wilson to write an article explaining Crémieu's result as the consequence of a basic flaw in his apparatus design.<sup>6</sup> Others, like Augusto Righi and Tullio Levi-Civita, expected a null effect on Maxwellian grounds, due to the design of Crémieu's apparatus.<sup>7</sup> The superior design of Crémieu's experiment, however, figures strongly in Poincaré's early support of his results (§ 62.6), which render the existence of Rowland's effect “very doubtful”.

Poincaré's stormy relation with Maxwell's theory begins with his preface to the textbook *Électricité et optique*, where he takes a celebrated swipe (1890–1891, I, v) at the precision and logic of Maxwell's *Treatise on Electricity and Magnetism*. In correspondence with Hertz, however, he aligns himself squarely on the side of Maxwell's ideas (§ 30.3). Leading physicists, including G.F. FitzGerald and Paul Drude, contest details of Poincaré's interpretation of Maxwell, and it seems clear that Poincaré is led astray on occasion by his flawed understanding of the basic Maxwellian notions of charge and current.<sup>8</sup> Even so, his Sorbonne lectures of 1888 and 1890 are instrumental to the diffusion of Maxwell's

ideas, and provide a convincing demonstration of the power of British abstract dynamics.<sup>9</sup> When the second edition of these lectures appears in 1901, with new material on the electron theories of Lorentz and Larmor, Poincaré warns readers that these theoretical innovations are menaced by Crémieu's results. Nevertheless, when the existence of Maxwell's displacement currents—denied by Crémieu—is attacked in the pages of a technical journal he co-edits, Poincaré (1901c) takes it upon himself to respond in Maxwell's stead. For Crémieu, the international attention to his work was surely flattering, but the pressure to respond to sharp, and often dismissive criticism from Wilson and others took its toll, as both he and Poincaré began to doubt about the certainty of some of his results (§ 17.4). Crémieu's results are subject to close scrutiny in France. At the Sorbonne, Lippmann and Bouty find them to be sound, and at the *Collège de France*, Marcel Brillouin (1904, 265) announces that they represent a substantial challenge to Maxwell's theory. Yet Poincaré's Sorbonne colleague Henri Pellat (§ 44) is dubious of Crémieu's results, and Alfred Potier, Poincaré's former instructor at the *École polytechnique*, can see no fundamental contradiction between Crémieu's results and Maxwell's theory. Poincaré answers Potier in an exchange published in part by the technical journal *L'Éclairage électrique* (1902), and fully transcribed in the present volume (§ 48). He also seeks—without success—to convince the reputed experimenter René Blondlot to reproduce Crémieu's experiments (§ 9.11).

The principle challenge to Poincaré and Crémieu comes not from theorists, but from a young American experimenter, Harold Pender (§ 45). At Johns Hopkins University, on the instigation of the bedridden Rowland, Pender carries out a series of experiments that confirm Rowland's earlier results, and set a new standard of precision for measurements of charge convection on a rotating disk. In addition to providing quantitative evidence of Rowland's effect, Pender points out certain difficulties in Crémieu's setup that had been overlooked by Poincaré. To settle the matter, Poincaré, after carefully seeking—and obtaining—William Thomson's endorsement, makes an extraordinary move: he calls for a side-by-side repetition of Crémieu's and Pender's experiments.<sup>10</sup> The *Institut de France* underwrites the expenses incurred by Bouty's laboratory in hosting the face-off, probably on Poincaré's suggestion, while the Carnegie Institution of Washington provides the funds for Pender's participation. When the American money was all spent, Poincaré asked his Hopkins colleague Joseph Ames (§ 1.1) to seek an extension.<sup>11</sup>

At the issue of a three-month collaboration in Bouty's laboratory in 1903, Crémieu and Pender qualitatively confirm Rowland's effect on both sides,<sup>12</sup> and agree that the effect had been masked by a dielectric coating applied to the disks and armatures of Crémieu's apparatus. Using Pender's equipment, the two physicists demonstrated Rowland's effect for the *société française de physique*, on April 17 1903, marking the end of the controversy, as far as Pender is concerned (Crémieu et Pender, 1903a, 956).

On the following day, however, another Sorbonne experimentalist challenged the explanation offered for Crémieu's null results, denying that a dielectric coating could reduce the magnetic effect of convected charge (Vasilesco-Karpen, 1903, 168–169). Taking up the new challenge, this time with a colleague, Crémieu seeks to establish what one physicist calls the “Crémieu-Pender effect”, publishing two notes on this investigation in the *Comptes rendus*, both of which are presented by Poincaré.<sup>13</sup>

However, the latter effect resists all efforts by others at reproduction, and is summarily dismissed as spurious by A. Eichenwald, who assigns to experimental error Crémieu's repeated null findings for the Rowland effect.<sup>14</sup> Along with Eichenwald, F. Himstedt (1904) manages to reproduce Pender's measurements quantitatively, and establishes the Rowland effect on firm ground. Since few leading physicists had entertained doubts over the reality of the Rowland effect, the upshot of the Crémieu-Pender meeting was a striking confirmation of the excellence of Rowland's school of experimental physics, at the expense of Poincaré and, more generally, of French expertise in precision electrical measurement.<sup>15</sup> Poincaré acknowledges the outcome by silently rewriting the passage of *La science et l'hypothèse* concerning Crémieu's experiments. According to his mature view of the episode,

L'édifice de l'électrodynamique semblait, au moins dans ses grandes lignes, définitivement construit ; cette quiétude a été récemment troublée par les expériences de M. Crémieu qui, un instant, ont semblé contredire le résultat autrefois obtenu par Rowland. Les recherches nouvelles ne les ont pas confirmées, et la théorie de Lorentz a subi victorieusement l'épreuve.<sup>16</sup>

Later readings of Rowland's experiment and the Crémieu-Pender experiments include J. Sivadjian (1953) and H. Arzeliès (1959, 92–98); both references include extensive bibliographies. On the Crémieu-Pender controversy see J.D. Miller (1972), and for discussions of Poincaré's role see A.I. Miller (1973), O. Darrigol (1995), and the detailed study by L. Indorato and G. Masotto (1989). The latter reference provides a transcription of several of the letters exchanged between Poincaré, Crémieu and W. Thomson.

The Poincaré-Crémieu correspondence is not limited to the investigation of Rowland's effect. Having invested heavily in his bid to overturn Maxwell's theory—a doctoral thesis and some 21 papers were now rubbish—Crémieu was humiliated by the outcome. He was not totally defeated, however, as he had another line of research in progress, one with the potential to repair the damage done to his reputation by the face-off with Pender. This second project began in 1902 with financial support from the *Institut de France*, and was designed to overturn Newton's law of gravitational attraction. Several physicists, including H.A. Lorentz, J.H. Poynting, and Poincaré had wondered if gravitation, like electromagnetism, is not a field-theoretical phenomenon, the action of which propagates in the manner of a wave; if this were so, then the gravitational force might depend in some way upon the characteristics of the matter through which it propagates.<sup>17</sup> There was also the possibility of a small variation of the inverse-square law, which seemed likely to Poincaré (1900b, 1165) in the form of additional terms, whose existence would be revealed at short range.<sup>18</sup>

Crémieu's experiments were meant to test the dependence of gravitational attraction on the substance separating two test bodies. The experiments were of two types: in the first set, he measured the displacement of oil droplets in liquid, while in the second set, he relied on a custom-built torsion balance to measure the attraction of bodies in air and in water. Both sets of experiments produced results at odds with the Newtonian prediction, yet once again, Crémieu convinced himself that they were artifacts of his apparatus.<sup>19</sup> Poincaré commented on various aspects of the oil-drop experiments, but warned Crémieu

not to publish anything, or at least to forgo the interpretation of his experimental results, until such time as the charge convection controversy was resolved, lest he destroy his credibility. Crémieu followed this advice, while pursuing his investigations. In 1904 he worked on a Cavendish experiment based on a novel torsion balance, for which Poincaré provided the theory. Poincaré also communicated to the Paris Academy of Science several of the notes Crémieu submitted in connection with the torsion balance. Although Poincaré did not comment publicly on these experiments, he covered the subject of gravitational absorption in the course of his 1906–1907 lectures on the limits of Newton’s law (1953, 186–190). As for Crémieu, although he acknowledged Poincaré’s guidance in the Cavendish experiments, he seems to have relied more on the aid and counsel of Edmond Bouty.<sup>20</sup> There is no record of contacts between Poincaré and Crémieu from 1905 until Poincaré’s death in 1912, at which time Crémieu urged Paul Langevin (§ 32) to become Poincaré’s intellectual successor.<sup>21</sup>

## Notes

<sup>1</sup> *Annuaire de la société française de physique*, 1912, 11 ; Pierre Crémieu, p.c., 25.05.1997.

<sup>2</sup> On the history of electrodynamics in this period, see Whittaker (1951–1953, I, 305), Buchwald (1985), Jungnickel and McCormmach (1986, II, 231), Darrigol (2000a, chap. 8).

<sup>3</sup> *F*<sup>17</sup> 13248, Archives nationales ; Poincaré (1901b) ; (1916–1956, X, 391–420). Only the first six sections of the 1901 article were reedited in *Science et hypothèse* (1902d), omitting the discussion of Crémieu’s experiments.

<sup>4</sup> For the view of Rowland’s effect as a crucial test of Lorentz’s theory, see the latter’s 1907 lecture “The experimental foundations of the theory of electricity” (1934–1939, VIII, 125–151), and Eichenwald (1908, 83).

<sup>5</sup> Larmor’s view ignored Hertz’s demonstration that the existence of displacement currents on a rotating, uniformly electrified disk was implied by Maxwell’s theory ; on this and other errors in Larmor’s criticism of Maxwell’s theory, see Darrigol (2000a, 342).

<sup>6</sup> Indorato and Masotto (1989, 130). On Larmor’s view of Rowland’s experiment, see Darrigol (2000a, 342).

<sup>7</sup> See the correspondence with Levi-Civita (§ 37.2).

<sup>8</sup> FitzGerald (1892) ; Drude (1897a, XXI).

<sup>9</sup> Darrigol (1993, 223). On the French reception of Maxwell’s theory, including Poincaré’s role, see Coelho Abrantès (1985) and Atten (1992).

<sup>10</sup> Two years earlier, Poincaré (1902e, 218) had arranged for an exchange of astronomers between Paris and Greenwich, in order to resolve discordant measurements of the difference in longitude between the two observatories.

<sup>11</sup> The Carnegie Institution of Washington underwrote all of Pender’s expenses, in the amount of \$662.57. According to Pender’s unpublished report to his sponsor, the *Institut de France* contributed 7000 francs to defray costs incurred by Bouty’s laboratory in hosting the experiments (Pender to D. C. Gilman, 09.05.1903, Harold Pender file, Archives of the Carnegie Institution of Washington).

<sup>12</sup> Pender attributed his failure to obtain a quantitative reproduction of his earlier results to magnetic disturbances in Bouty’s Sorbonne laboratory (Pender to D.C. Gilman, 09.05.1903, op. cit).

<sup>13</sup> Sutherland (1904) ; Crémieu et Malclès (1904a,b), presented 11.11.1904 and 12.12.1904, respectively.

<sup>14</sup> Eichenwald (1908, 86) eliminated the hypothesis of a masking effect generated by the dielectric, and guessed that Crémieu’s null results were due to inadequate isolation and point discharge.

<sup>15</sup> On the damage to French scientific prestige, see M.-J. Nye (1986, 71). The Pender-Crémieu outcome heralded the greater blow dealt by R.W. Wood (another Hopkins physicist), in his much-publicized debunking of René Blondlot’s N rays. On Rowland’s school, see Sweetnam (2000).

<sup>16</sup> Poincaré (1906d, 281). The cited passage is struck from later editions of *Science et hypothèse*. Poincaré’s first published view of Crémieu’s experiments Poincaré (1901b) was published in modified form in chapter 13 of *La science et l’hypothèse*, in several editions (1902, 1906, 1907) ; excerpts of his correspondence with Alfred Potier on this topic appear in Poincaré et Potier (1902). Poincaré’s mature view of the Crémieu episode (Poincaré, 1908b, 387) emphasizes that Rowland’s effect is required by the first law of thermodynamics.



<sup>17</sup>On gravitational absorption and field theories of gravitation ca. 1900, see Zenneck (1903) and Roseveare (1982). On Vito Volterra's attempt to characterize the energy of gravitation, see (§58.8).

<sup>18</sup>A short-range effect of this sort made the headlines in the late 1980's, as Franklin (1993) observes.

<sup>19</sup>Crémieu (1905a,b,d, 1906, 1910). The curious result of the first set of experiments—the mutual attraction of oil droplets in liquid—was explained away by Poincaré as the consequence of the liquid's inhomogeneity (§ 17.15).

<sup>20</sup>For Crémieu's acknowledgments see (1905c, 499).

<sup>21</sup>Crémieu to Langevin, 07.1912, Archives Langevin 83.

## 17.1 Poincaré à Crémieu

28 Mars [1901]

Cher Monsieur,

Ce qui m'étonne dans les phénomènes en question, c'est qu'il ne se produise rien (dans la 2<sup>de</sup> disposition) quand l'inducteur est en communication avec la machine de Wimshurst.<sup>1</sup>

Le reste s'explique aisément.

Nos secteurs circulent devant la plaque d'étain de l'inducteur, leur capacité varie suivant qu'ils sont en face de cet inducteur, ou non. Donc s'il n'y avait pas d'étincelles, leur charge demeurant constante, leur potentiel varierait ; d'où des différences de potentiel entre deux secteurs consécutifs, d'où des étincelles.

Il est vrai qu'au début les secteurs sont au potentiel du sol de même que l'inducteur ; mais c'est ici qu'intervient la polarisation de l'ébonite ; la charge des secteurs peut ne pas être nulle bien que leur potentiel soit nul, ou elle peut ne pas rester nulle quand les circonstances varient.

De même avec la 2<sup>de</sup> disposition, le potentiel à la surface de l'ébonite va varier, il ne sera plus le même au contact des deux balais, d'où débit à travers le conducteur.

Mais pourquoi la même chose ne se produit-elle pas quand l'inducteur communique avec la machine de W[imshurst] ???

Je m'étais demandé si des effets de ce genre ne se produisaient pas avec la disposition que je proposais, c'est pour les éviter que je demandais que les deux balais fussent placés l'un et l'autre derrière l'inducteur, l'un du côté amont, l'autre du côté aval.

Mais je ne me préoccupais pas de la polarisation de l'ébonite.

Tout à vous,

Poincaré

**ALS 2p. Archives de l'Académie des sciences. Transcrite par Indorato et Masotto (1989).**

<sup>1</sup>La machine de Wimshurst est un générateur de tension, ancêtre du générateur van de Graaf ; elle sépare des charges par induction électrostatique.

28 May

Cher Monsieur,

Ce qui m'étonne dans les phénomènes en question, c'est qu'il ne se produit rien (dans la 2<sup>e</sup> disposition) quand l'inducteur est en communication avec la machine de Wimshurst. Le reste s'explique aisément.

Nos secteurs circulent devant la plaque d'étain de l'inducteur, leur capacité varie suivant qu'ils sont en face de cet inducteur, ou non. Donc s'il n'y avait pas d'étincelles, leur charge demeurant constante, leur potentiel varierait; d'où des différences de potentiel entre deux secteurs consécutifs, d'où des étincelles.

Il est vrai qu'au début les secteurs sont au potentiel du rôle de même que l'inducteur; mais c'est ici qu'intervient la polarisation de l'ébonite, la charge

des secteurs peut ne pas être nulle bien que leur potentiel soit nul, ou elle peut ne pas rester nulle quand les circonstances varient.

De même quand avec la 2<sup>e</sup> disposition, le potentiel à la surface de l'ébonite va varier, il ne sera plus le même au contact des deux balais, d'où débit à travers le conducteur.

Mais pourquoi la même chose ne se produit-elle pas quand l'inducteur communique avec la machine de W. ???

Je m'étais demandé si des effets de ce genre ne se produiraient pas avec la disposition que je proposais, c'est pour les éviter que j demandais que les deux balais fussent plus près l'un et l'autre derrière l'inducteur, l'un du côté amont, l'autre du côté aval.

Mais je ne me préoccupais pas de la polarisation de l'ébonite.

Tout à vous

Poincaré



## 17.2 Poincaré à Crémieu

[Ca. 06.1901]<sup>a</sup>

Cher Monsieur,

Vous vous rappelez l'expérience où un disque plein tournait en présence d'un secteur fixe chargé.<sup>1</sup> Nous étions convenus de tracer sur le disque plein des rainures circulaires concentriques afin précisément d'éviter cet inconvénient (détournement du courant par différence de résistance) où vous avez reconnu la cause des anomalies récemment observées ainsi que vous me l'avez dit lundi.

Je ne me rappelle plus si en fait vous aviez pratiqué ces rainures concentriques. Dans le cas où elles ne l'auraient pas été, vous rappelez-vous si vous avez fait des essais en mettant le système astatique à différentes hauteurs.

Votre bien dévoué,

Poincaré

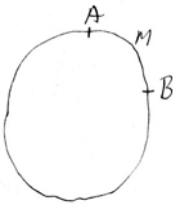
### ALS 2p. Archives de l'Académie des sciences de Paris.

<sup>1</sup>Alfred Potier (1900) suggère cette expérience dans une lettre à la rédaction de l'*Éclairage électrique*, ainsi que dans une lettre à Poincaré (§48.12.

## 17.3 Poincaré à Crémieu

[Ca. 08–09.1901]

Question de secteur chargé tournant en face d'une nappe fixe dont les 2 extrémités sont reliés à un galvanomètre.<sup>1</sup>



$\ell$ , longueur totale du circuit

$x$ , longueur  $AMB$ .

$i = \varphi(x, t)$ , intensité au point  $B$ .

$i_0 = \varphi(0, t)$ , intensité au point  $A$ .

$Q$ , charge de la section  $AMB$ .

$\rho dx$ , résistance du segment  $dx$ .

$V$ , potentiel;  $R$  résistance totale du circuit.

On a :

$$i \rho dx = dV \text{ (loi de Ohm)}$$

ou en étendant l'intégrale au circuit tout entier

$$\int i \rho dx = 0. \quad (1)$$

On a

$$i - i_0 = \frac{dQ}{dt}, \quad (2)$$

<sup>a</sup>Un calcul et deux figures de main inconnue figurent au verso.

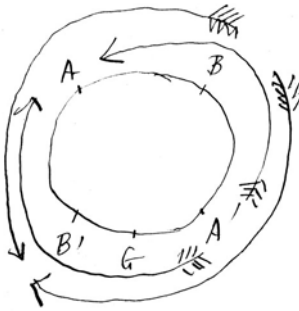
d'où

$$0 = \int i \rho dx = \int \frac{dQ}{dt} \rho dx + i_0 \int \rho dx$$

d'où :

$$i_0 = -\frac{1}{R} \int \frac{dQ}{dt} \rho dx.$$

Or  $Q$  est une fonc. périodq. du temps. Donc la valeur moyenne de  $dQ/dt$  est nulle. Donc il en est de même de celle de  $\int \frac{dQ}{dt} \rho dx$  donc de celle de  $i_0$ , donc de celle de  $i$  C.Q.F.D.



J'arrive au cas symétrique que vous supposiez la dernière fois. Le galvanomètre est en  $G$ , la nappe en  $AB$ .  $A'$  et  $B'$  sont diamétralement opposés à  $A$  et à  $B$ .

Au moment où le secteur fixe vient en  $A$  nous avons charge, au moment où il vient en  $B$  nous avons décharge. Les courants de charge compensent-ils ceux de décharge.

Le sens des courants de charge est indiqué par les flèches intérieures, le sens des courants de décharge par les flèches extérieures. Vous voyez qu'en  $G$  les deux courants sont de même sens.

Ces deux courants sont bien égaux mais pas de sens contraire.

Coëff. d'induc.

Je crois que pour le calcul de  $M$ , vous pouvez vous contenter des formules approchées suivantes :



Je représente ici en  $A$  et en  $B$  la section de l'un des circuits par le plan de symétrie en  $C$  et en  $D$  celle de l'autre circuit. J'appelle  $\rho$  la distance  $CA$ . Le coëff.  $M$  sera :

$$K \log \rho + C = M$$

$C$  et  $K$  étant des constantes qui dépendent des arcs des deux cercles  $AB$  et  $CD$  qui entrent en jeu et des rayons du cercle  $AB$ .

1° Si les deux cercles sont complets, on a : pour le coëff. d'induction de deux cercles très rapprochés, rayon des deux cercles  $a$ , distance des deux circuits =  $\rho$ ; on a dis-je :

$$M = 4ra \log \frac{8a}{\rho} - 8ra.$$

2° Si l'un des cercles est complet et l'autre a un angle  $\varphi$ , on a :

$$M = 2\varphi a \log \frac{8a}{\rho} - 4\varphi a.$$

3° Pour deux cercles incomplets, les formules deviennent assez compliquées et je crois que vous pouvez vous contenter de la précédente. La différence ne serait pas grande. Si nous supposons alors une nappe ; et que nous nous contentions de cette expression simplifiée nous trouvons encore quelque chose d'assez compliqué. Soit  $x_0$  le rayon extérieur de la nappe,  $y$  celui de la spire induite,  $x_1$  le rayon intérieur :

$$x_0 > y > x_1.$$

On trouve : non, je ne transcris pas cette formule qui est trop compliquée ;<sup>b</sup> il m'en vient une autre à l'esprit qui est plus simple, et dont je vous parlerai longuement une autre fois après y avoir un peu réfléchi. Mais elle me fait voir facilement une limite supérieure de  $M$  et je suis frappé de voir combien cette limite est petite ; elle est de l'ordre de  $10^{-8}$  Henry multiplié par le nombre des spires.

N'y aurait-il pas lieu de demander quelques détails à Pender ?<sup>2</sup>

Tout à vous,

Poincaré

#### ALS 4p. Archives de l'Académie des sciences de Paris.

<sup>1</sup>L'absence de forme d'adresse, et les ratures du manuscrit témoignent d'une certaine rapidité de rédaction.

<sup>2</sup>Poincaré écrira lui-même à Pender en 1902 (§45.1).

## 17.4 Poincaré à Crémieu

[Ca. 08–09.1901]

M. Poincaré à Arromanches (Calvados)

Cher Monsieur,

Il est évident qu'il faut que vous répondiez à M. Pender, mais il importe de bien réfléchir à ce que vous voulez répondre.<sup>1</sup>

Les critiques de M. Wilson ne signifiaient pas grand-chose mais celles-ci méritent beaucoup plus d'attention.<sup>2</sup>

1° En ce qui concerne le warping je sais ce que vous allez répondre, mais il y a aussi ce qu'ils appellent le jarring c'est-à-dire je suppose le ballottement, (sorte de précession à la Poinot) êtes-vous sûr de vous en être suffisamment débarrassé.<sup>3</sup>

2° La seconde partie de l'objection est la plus importante, (transport des charges sur l'isolateur) et la 1<sup>re</sup> n'est là que comme renfort. Il ne suffit pas de dire que des épreuves d'isolement ont été faites, il faut voir si ces épreuves nous mettent réellement à l'abri de l'objection.

Pourriez-vous me dire exactement quelles ont été dans chaque série d'expériences les dispositions adoptées et les épreuves faites ; distance des secteurs fixes et mobiles, nature et épaisseur des diélectriques qui recouvraient soit le disque fixe, soit le disque mobile ; épreuves d'isolement faites soit sur les secteurs fixes, soit sur les secteurs mobiles.

<sup>b</sup>Variante : "On trouve :  $\frac{M}{3}(x_0^3 - x_1^3) =$  ; non, je ne transcris pas cette formule qui est trop compliquée ; il suffira de se rappeler que la seule fraction il m'en vient ...". La formule est barrée.

En ce qui concerne l'objection de Wilson il s'agissait de vérifier non l'isolement des secteurs mobiles, mais ceux des secteurs fixes et non pas leur isolement par rapport à d'autres corps mais leur isolement entre eux. Est-ce bien cela que vous avez fait? Je n'attache à ce point qu'une importance secondaire, l'objection Wilson me semblant peu sérieuse par elle-même, d'autant plus que vous l'avez réfutée plus directement.<sup>4</sup>

Mais ce que je voudrais savoir surtout c'est si les épreuves d'isolement ont été dirigées de façon à vous mettre à l'abri de l'objection Pender dont nous devons d'autant plus nous défier que nous savons que la polarisation des diélectriques à de hauts potentiels peut donner lieu à des surprises. Cette objection Pender, à la différence de celle de Wilson, s'applique[n]t[ presque à toutes les formes de vos expériences. Il y a exception pour l'expérience *E* (courants ouverts) à laquelle elle ne s'appliquerait pas sans difficulté.

La forme d'expérience que vous proposez (*E* mâtinée de *B*) présente évidemment un grand intérêt et j'y attacherais beaucoup de prix, si la non-existence de l'effet Rowland étant définitivement hors de contestation, il s'agissait de savoir comment se comportent les courants ouverts. Pour le moment, elle ne répondrait peut-être pas très directement aux objections faites.

Vous pouvez donc vous préoccuper d'en étudier et d'en préparer la réalisation, car il vous faudrait sans doute un certain temps et je serais étonné qu'elle pût être prête pour Glasgow; mais il y a peut-être quelque chose de plus pressé à faire.<sup>5</sup>

1° *Il faudrait d'abord reprendre l'expérience E qui doit être encore montée et vérifier si l'aiguille astatique reste indéviée non seulement quand elle est près de la partie du disque mobile placée vis à vis du secteur mobile mais quand elle est près des autres parties du disque mobile.*<sup>c</sup>

2° Il faudrait ensuite refaire des expériences dans des conditions aussi voisines que possible de celles où ont opéré Rowland et Pender pour voir si vous retrouveriez les mêmes résultats qu'eux.

Ou tout au moins opérer dans des conditions où vous seriez tout à fait à l'abri de l'objection Pender.

Je ne tarderai pas à vous écrire de nouveau, car je n'ai pas encore eu le temps de lire à fond l'article de Pender.

Quel que soit le résultat de cette polémique, et quand même vous devriez reconnaître que vous vous êtes trompé, vous ne devriez pas vous décourager, et vous devriez vous estimer heureux de l'avoir provoquée car il est certain qu'il en sortira bien des faits nouveaux.

Votre bien dévoué,

Poincaré

**ALS 6p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989).**

<sup>1</sup>Harold Pender (1901a) observe que la vibration du disque pouvait produire des étincelles, qui aurait pour conséquence la neutralisation de l'effet magnétique recherché. Son article est publié en août.

<sup>2</sup>H.A. Wilson (1874–1964) est boursier au laboratoire Cavendish, avant de devenir *lecturer* à King's College en 1904. Wilson suggère en juillet 1901 que dans les expériences de Crémieu l'isolation des secteurs du disque est inadéquate (Indorato et Masotto, 1989, 130–131).

<sup>c</sup>La remarque est soulignée deux fois à partir de "mais quand elle est près...".

<sup>3</sup>Poincaré confond ici “jarring” (une vibration induite par un choc) et un mouvement de précession du vecteur de vitesse angulaire autour de l’axe de symétrie, décrit par Louis Poinsot (1777–1859).

<sup>4</sup>Wilson (1901) met en cause l’effet de l’armature mobile du disque ainsi que celui des plaques en laiton. Dans sa réponse, Crémieu (1901d) suggère que l’objection de Wilson ne correspond pas à son appareil. Wilson reconnaît son erreur, mais il maintient que le résultat nul de Crémieu est une conséquence de son appareil (Indorato et Masotto, 1989, 130).

<sup>5</sup>Crémieu participe à la réunion de la *British Association* à Glasgow en septembre 1901 (Indorato et Masotto, 1989, 137–138).

## 17.5 Poincaré à Crémieu

[Ca. 08–09.1901]

Cher Monsieur,

Le plus pressé est je crois de refaire l’expérience  $E$  dans les conditions que j’ai dites, c’est-à-dire avec l’aiguille d’abord entre les 2 balais puis au delà ou en deçà de ces 2 balais.

Nous verrons après.

Ce que vous avez fait pour l’isolement répond complètement à l’objection Wilson mais pas à l’objection Pender.<sup>1</sup>

Pour le jarring, ce que Pender incrimine ce n’est pas le jarring relatif par rapport à la bobine, qui doit être bien plus grand dans son dispositif, mais par rapport aux condensant plates.

Mais revenons à l’objection principale de Pender ; ce que vous dites au sujet de la minceur du caoutchouc que 1000 volts auraient percé est de nature à lui enlever de sa force ; cela pourrait même être décisif si les secteurs fixes n’avaient été alors recouverts aussi de caoutchouc. Mais il me semble qu’ils l’étaient de sorte que cela n’est pas encore péremptoire.

Il est exact que M. Pender a opéré avec un disque continu (sauf dans quelques expériences à la fin) ; mais cela rend-il ses expériences identiques à celles que vous avez faites avec un disque d’aluminium nu ? Non, si les disques fixes étaient comme je le crois recouverts d’un diélectrique.

De sorte que vous n’avez pas encore réduit à néant son objection ; il faut donc vous y attaquer directement pour voir ce qu’elle vaut et je pense que vous le ferez plus facilement avec l’expérience  $E$ .

Pourriez-vous me donner des détails sur les difficultés que vous avez éprouvées par suite de l’action de l’interrupteur et m’expliquer [comment] elles pourraient avoir induit M. Pender en erreur.

En ce qui concerne l’expérience  $B - E$  je vous engage à y réfléchir ; mais quand vous l’aurez faite on vous fera les mêmes objections. Il faut donc aborder ces objections directement. C’est ce que je vous propose.

Une autre question. Vous me dites que le courant de convection réalisé par Pender était de  $0,33 \cdot 10^{-4}$  ampères. Où avez-vous trouvé ce chiffre ; je ne l’ai pas vu, ni le moyen de le calculer, l’une des données (distance des plateaux fixe et mobile) qu’il appelle  $B$  manquant.



Cela doit être d'ailleurs dans ces prix là.  
 Votre bien dévoué,  
 Poincaré

**ALS 4p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989, P4).**

<sup>1</sup>H.A. Wilson et H. Pender ; voir à ce propos (§ 17.4).

## 17.6 Poincaré à Crémieu

[Ca. 08–09.1901]

Cher Monsieur,

L'effet dû à l'interrupteur ne saurait être réversible avec l'interrupteur ; vous ferez bien néanmoins de le signaler à M. Pender.

Ce que vous dites de la micanite ne va pas, puisque la micanite est *sous* l'or et non pas dessus et par conséquent n'est pas polarisée.

Le chiffre  $0,33 \times 10^{-4}$  ne se rapporte pas au courant de convection, mais à un courant témoin. Le courant de convection est d'ailleurs probablement plus faible.

M. Pender dit que vous avez vérifié que l'hypothèse de M. Pellat était fausse *pour les disques en repos*.<sup>1</sup>

Comment avez-vous fait cette vérification.

Dans l'expérience faite pour répondre à M. Potier et où la partie supérieure du disque était découverte (vous savez ce que je veux dire) quelle était la nature et l'épaisseur des couches diélectriques protectrices des secteurs fixes et des secteurs mobiles.<sup>2</sup>

J'attache une certaine importance à cette question, parce que je me rappelle les étincelles qui se produisaient au commencement dans cette expérience et que nous aurions peut-être là un nouveau moyen de vérifier si l'objection de M. Pender est exacte.<sup>3</sup>

Enfin une dernière question relative à l'expérience *E* et qui vous paraîtra peut-être étrange (mais dans cette exp. vous avez constaté de si drôles de choses pour la polaris. des diélec.). Quel était le rapport du courant de conduction *mesuré* au courant prévu par la théorie élémentaire et surtout avez-vous bien vérifié que ce courant était dans le sens prévu ?

J'ai écrit à M. Potier pour le mettre au courant de la situation ; il vous donnera peut-être quelques conseils.<sup>4</sup> En attendant je crois qu'il faut d'abord faire la vérification dont je vous ai parlé.

Tout à vous,  
 Poincaré

**ALS 3p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989).**

<sup>1</sup>Pender (1901a, 184) précise d'ailleurs que H. Rowland donne raison à H. Pellat : la vibration du disque tournant mène au dépôt de charge sur la surface du verre, laissant le disque électriquement neutre.

<sup>2</sup>Potier (§ 48.12) suggère l'utilisation d'un disque en ébonite sans dorure.

<sup>3</sup>Pender (1901a, 186–187) explique la déflexion faible observée par Crémieu comme la conséquence d'une différence de charge entre le disque en aluminium et la surface de caoutchouc.

<sup>4</sup>La lettre de Poincaré à Potier nous manque, mais la réponse de Potier pourrait être (§48.13).

## 17.7 Poincaré à Crémieu

[Ca. 08–09.1901]

Cher Monsieur,

Je vous renvoie le N° du *Ph. M.*<sup>1</sup>

Vous avez bien fait de remonter l'exp. *E* ; vous ne me dites pas à quoi sont reliés vos balais témoins. Il faudrait savoir si M. Pender retournait le sens de l'interrupteur en même temps que celui de la rotation.

C'est justement ces étincelles qui se produisaient au début dans l'exp[érience] Potier qui avaient attiré mon attention parce qu'il me semble que cela ne se passerait pas tout à fait comme cela dans l'hypothèse Pender.<sup>2</sup>

En ce qui concerne cette exp. Potier, il me semble que l'on pourrait étudier une vérification directe de l'hypothèse Pender en transformant la partie supérieure de la boîte en une sorte de cylindre de Faraday.

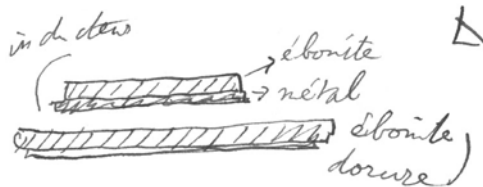
Pour en finir avec cette exp[érience] Potier je vous demanderais q[uel]q[ues] explications sur ce que vous me dites dans votre lettre "j'avais essayé de récolter sur un second balai les charges...". Sur quoi frottait ce 2<sup>d</sup> balai ? Comment recueillait-il les charges si les secteurs étaient recouverts d'une couche de caoutchouc.

Avez-vous eu des mesures suivies. Comment la décharge devenait-elle oscillante ? aviez-vous des étincelles dans le circuit ; ne pouviez-vous les supprimer ? A quel caractère reconnaissiez-vous que la décharge était oscillante.

Maintenant passons à l'exp. *E*.

Vous dites : "de plus les balais étaient fixés sur le plateau d'ébonite fixe en regard."

Qu'entendez-vous par là ?



Le métal de l'inducteur fixe était-il nu du côté du disque mobile comme sur la figure ci-dessus, ou au contraire recouvert d'ébonite des 2 côtés comme sur la figure ci-dessous.



Dans ce dernier cas, est-ce sur l'ébonite de devant ou sur celle de derrière que les balais étaient fixés.

Comment les balais étaient-ils fixés à cette ébonite ?

Est-ce seulement le 1<sup>er</sup> balai qui y était fixé, ou aussi le second qui ne se trouvait pas en face de l'inducteur, et comment ?

Je ne sais si vous trouverez M. Potier chez lui ; je crois que s'il était à Paris j'aurais déjà reçu sa réponse.

Tout à vous,

Poincaré

**ALS 4p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989, P6).**

<sup>1</sup>La thèse de Harold Pender (§ 45) figure dans le numéro d'août de *Philosophical Magazine* (Pender, 1901a).

<sup>2</sup>Voir la lettre d'Alfred Potier (§ 48.12).

## 17.8 Poincaré à Crémieu

[Ca. 08–09.1901]

Cher Monsieur,

Ce que vous me dites au sujet de l'exp. C Potier et de la décharge oscillante m'inquiète un peu.<sup>1</sup>

Je n'ai jamais cru à votre décharge oscillante ; j'ai cru dans le temps qu'aux grandes vitesses le contact n'était plus bon entre vos balais et vos plots ; alors je m'étais demandé si le contact était encore suffisant pour le balai de charge ; mais vous m'aviez pleinement rassuré à cet égard et je m'étais contenté de cela.

Vous comprenez que si la décharge était oscillante mais totale l'indication du galvanomètre serait toujours la même que si la décharge était oscillante, l'oscillation serait très rapide et amortie ; de sorte que pendant le passage d'un secteur, elle aurait cessé.

Et alors Pender pourrait dire que cela vient à l'appui de sa manière de voir que cela prouve que l'isolement, suffisant au repos, ne l'était plus aux grandes vitesses.<sup>2</sup>

2<sup>o</sup> Vous parlez du mauvais isolement de l'ébonite comme du fondement de l'objection Pender (et je reconnais qu'il y a dans Pender une phrase qui vous donnerait raison comme s'il n'avait pas bien compris sa propre objection.) Ce n'est pas cela ; l'objection Pender subsisterait tout entière si l'ébonite était un isolant parfait, pourvu que l'*air* n'isole plus bien.

3<sup>o</sup> Je ne comprends pas ce que vous dites du saut des charges + sur l'ébonite fixe. L'ébonite fixe et les secteurs mobiles doivent être à peu près au même potentiel ; il ne doit pas y avoir de saut ; les charges des secteurs métalliques sont collées sur la face qui touche l'ébonite mobile et non sur celle qui regarde l'ébonite fixe.

D'ailleurs ces charges une fois passées sur l'ébonite fixe ne seraient pas entraînées elles resteraient fixes et ne seraient pas recueillies par les balais.

4<sup>o</sup> L'autre argument que vous invoquez : "Si ce second saut n'avait pas lieu . . . les balais ne recueilleraient presque rien," m'était venu à l'esprit depuis longtemps et me préoccupait beaucoup depuis huit jours.<sup>3</sup>

Peut-être y a-t-il là une réfutation péremptoire des idées de Pender.

Mais il faudrait y regarder de bien près voir s'il n'y a pas vis-à-vis du second balai et de l'autre côté du plateau mobile, quelque armature ou pièce métallique très voisine de l'ébonite fixe et au potentiel du sol.

Nous ne tarderons pas d'ailleurs à être fixés sur tous ces points.

Tout à vous,

Poincaré

**ALS 4p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989, P7).**

<sup>1</sup>Poincaré répond à une lettre de Crémieu qui nous manque.

<sup>2</sup>H. Pender (§ 45).

<sup>3</sup>La lettre de Crémieu à Poincaré nous manque.

## 17.9 Poincaré à Crémieu

[Ca. 09–11.1901]

Cher Monsieur,

Qu'est-ce qui se passe ? Pourquoi n'ai-je plus de vos nouvelles ? Est-ce que vous avez rencontré des difficultés inattendues ?

J'ai reçu deux lettres de M. Potier qui s'intéresse toujours à vos recherches.<sup>1</sup>

Vous feriez bien de demander à M. Graye des détails sur cette expérience qu'il ne veut pas publier.<sup>2</sup>

Son dispositif était-il identique au vôtre ou bien se rapprochait-il de celui de Pender ?

Pour quelle raison n'a-t-il pas continué ses recherches ?

Tout à vous,

Poincaré

**ALS 2p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989, P8).**

<sup>1</sup>Une des lettres pourrait être (§ 48.13).

<sup>2</sup>Le physicien Andrew Gray (1847–1925) participe avec Crémieu à la réunion de la British Association à Glasgow en septembre 1901 (Indorato et Masotto, 1989, 138). Poincaré écrit à Joseph Larmor (§ 34.1) à son sujet.

## 17.10 Poincaré à Crémieu

[Ca. 12.1901]<sup>d</sup>

Cher Monsieur,

M. Blondlot m'écrit que l'état actuel de sa santé ne lui permet pas d'entreprendre ces expériences mais qu'il vous conseille de les tenter vous-même. Vous feriez bien de lui écrire directement pour lui demander conseil.<sup>1</sup>

<sup>d</sup>Le verso du manuscrit porte l'annotation de main inconnue : "9, 11, 18 ; mèches à canon ; forêt de 10mm ; Jacquot et Lavenda ; 111 r Patay".

Votre bien dévoué,  
Poincaré

**ALS 1p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989, P9).**

<sup>1</sup>Voir la correspondance avec R. Blondlot (§ 9.11). Un collaborateur de Blondlot, Camille Gutton (§ 29) décèlera l'effet des courants de convection sur un écran phosphorescent (1904b).

## 17.11 Poincaré à Crémieu

[Après le 23.12.1901]

Cher Monsieur,

Voici le résumé des observations que je désirais vous envoyer par écrit.

Permettez moi d'appeler pour abrégé :

Expérience *A* celle qui fait l'objet de la 1<sup>re</sup> partie de votre thèse (effet inverse de celui de Rowland)

Exp. *B* celle qui fait l'obj. de la 2<sup>de</sup> partie (effet Rowland observé par induction)

Exp. *C* celle qui fait l'obj. de la 3<sup>e</sup> partie (effet Rowland observé directement)

Exp. *D* celle que je vous avais demandé de faire avec un dispositif analogue à celui de l'exp. *C*, mais avec un disque tournant plein et un secteur inducteur fixe ; le disque tournant étant sillonné de rainures circulaires.

Exp. *E* celle où vous avez réalisé des courants ouverts, mesurables au galvanomètre.

Exp. *F* celle de Carvalho.

Selon moi, c'est surtout aux exp. *B*, *C*, *D*, *E*, *F* qu'il faut s'attacher d'abord, l'exp. *A* en étant à peu près indépendante et étant d'ailleurs beaucoup plus délicate. Je ferai cependant à la fin de cette lettre, diverses observations se rapportant à l'exp. *A*. Examinons d'abord les contradictions que semblent soulever les exp. *B C D E* et qu'il s'agit de faire disparaître. Ces contradictions sont de 2 sortes :

1<sup>o</sup> Contradictions qui s'attachent à la notion même de courant ouvert.

2<sup>o</sup> Contradiction apparente entre les exp. *D* et *E*.

1<sup>o</sup> Contradictions inhérentes à la Notion même de Courant ouvert.

Si l'on définit le courant par l'action sur le galvanomètre, c'est à dire par les équations <sup>1</sup>

$$\begin{aligned} 4\pi u &= \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} \\ 4\pi v &= \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} \\ 4\pi w &= \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} (u, v, w, \text{ compos. du courant} \\ \alpha, \beta, \gamma, \text{ ——— de la force magnét.}) \end{array}$$

tous les courants sont fermés par définition. Car on déduit de là :

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = 0$$

et il ne s'agit plus de chercher s'ils se ferment, mais *comment* ils se ferment.

2° Comparaison des exp. *D* et *E*

L'exp. *D* a donné des résultats négatifs comme si l'action des courants de conduction était détruite par celle des courants de convection.

L'exp. *E* a donné des résultats positifs comme si cette compensation n'avait pas lieu.

Nous commencerons par l'examen de la 2<sup>de</sup> contradiction. On en peut tenter plusieurs explications.

La 1<sup>re</sup> est celle à laquelle vous songez certainement mais que je ne puis adopter sans plus de preuves. Vous admettez non seulement qu'un courant de convection ne produit pas d'effet magnétique, mais qu'il en est de même d'un courant de conduction se propageant lentement et que dans ce dernier cas "il ne se produit pas de différence de potentiel pouvant donner lieu à un courant de conduction proprement dit."

Cette hypothèse rend bien compte du résultat de l'exp. *D*, mais elle est inadmissible à mon sens.

On peut d'ailleurs la soumettre à diverses vérifications :

1<sup>re</sup> vérif. (expérience *D'*)

Reprenons l'exp. *D*, mais outre les rainures circulaires assez larges pour opposer un obstacle absolu au courant, traçons des rainures radiales très fines et très nombreuses où jailliront des étincelles. Ces étincelles sont la preuve qu'il y a bien des différences de potentiel. C'est ce que j'appellerai l'expérience *D'*.

Si le résultat reste négatif, c'est que les courants en question qui ne peuvent guère être différenciés des véritables courants de conduction se comportent comme les courants de conduction à propagation lente de l'exp. *D*.<sup>e</sup>

2<sup>e</sup> Vérif. (exp. *D''*)

Je suppose que l'on supprime les rainures circulaires, nous aurons une nouvelle distribution de nos courants de conduction et il semble qu'ils devront encore être regardés comme des courants de conduction à propagation lente. Si le résultat ne reste pas négatif, c'est que dans certaines conditions ces courants doivent agir.

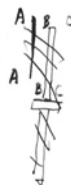
C'est ce que j'appellerai l'exp. *D''*.

2<sup>e</sup> explication

On pourrait encore expliquer la différence entre les exp. *D* et *E* de la manière suivante : Dans l'expérience *D* comme dans l'exp. *E* on a un courant de convection et un courant de conduction, mais dans l'exp. *E* ce courant de conduction est unique ; dans l'exp. *D* il y en a 2, l'un faisant le tour du disque dans le sens opposé au courant de convection, l'autre plus faible dans le sens du courant de convection par la portion du disque mobile qui n'est pas vis à vis de l'inducteur.

Cette différ. peut paraître au 1<sup>er</sup> abord peu importante mais en y réfléchissant voici ce qu'on voit : supposons pour fixer les idées que l'inducteur dans l'exp. *D* comme dans

<sup>e</sup>Variante avec une figure : "Ou bien encore supposons que nous n'ayons d'inducteur que d'un côté que sur la face *BB* du disque tournant on ait des secteurs iso".



l'exp. *E* occupe un quadrant. Cela posé dans un cas comme dans l'autre supposons superposés 4 appareils identiques ; (4 appareils *D* ou 4 appareils *E*) chacun d'eux décalé de  $90^\circ$  par rapport au précédent. Les courants de convection n'agissant pas, considérons l'ensemble des courants de conduction. Dans le cas *E* nous avons quatre courants de conduction dont l'ensemble forme 1 courant fermé dont l'effet semble-t-il ne peut être nul. Dans le cas *D* nous avons 8 courants de conduction dont l'ensemble constitue 2 courants fermés se détruisant mutuellement de sorte que l'effet des 4 appareils réunis devant être nul, il n'y a pas de contradiction à ce que l'un des appareils donne un effet nul.<sup>f</sup> Est-ce pour cela que dans le cas *D* on a un résultat négatif et dans le cas *E* un résultat positif ?

J'ai cherché à baser sur cette seule considération une thèse sur l'action des courants ouverts, mais j'ai échoué, parce que j'arrivais à des résultats en contradiction avec le principe des courants sinueux.

Alors voici ce qu'il faudrait faire ; il faut pour ainsi dire réaliser les conditions de l'exp. *D*, mais en n'offrant au courant de conduction qu'un seul chemin, pour ne pas avoir deux courants de conduction tournant autour du disque en sens contraire. Pour cela il convient de revenir aux conditions de l'exp. *B*.



Le disque fixe porterait une dorure analogue à ce qui est figuré par des hachures en *A* ; le disque tournant porterait une dorure analogue à ce qui est figuré par des hachures en *B* ; c'est-à-dire un secteur sillonné de rainures circulaires ; tout étant réuni à une extrémité par un conducteur radial mis au sol.

Le secteur doré du disque fixe aurait je suppose  $100^\circ$  ; celui du disque mobile  $160^\circ$ .

Il faudrait opérer avec un interrupteur synchrone ; il ne serait pas nécessaire d'ailleurs d'avoir un interrupteur pour la charge, mais seulement pour le galvanomètre. Les deux positions extrêmes seraient celles où le milieu du secteur mobile serait vis à vis le milieu du secteur fixe et la position diamétralement opposée.

C'est que j'appellerai l'exp. *B'*.

On peut varier en chargeant le disque mobile qui serait doré comme le disque *A* et mettant au sol le disque fixe qui serait doré comme le disque *B*.

C'est que nous appellerons si vous voulez l'exp. *B''*. Dans cette exp. *B''* il y a un courant de conduction et un courant de convection, mais ils ne sont plus dans le même disque. L'un est dans le disque fixe, l'autre dans le disque mobile.

3<sup>e</sup> explic.

D'après la 3<sup>e</sup> explic. la différence tiendrait à ce que dans un cas le conducteur où circule le courant de conduction est en mouvement relatif par rapport à celui qui emporte la charge

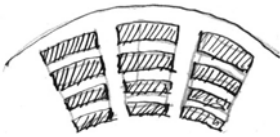
<sup>f</sup>Variante : "appareils isolés donne un effet nul."

électrique, et dans l'autre cas pas.

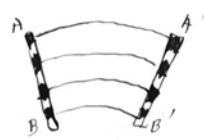
L'exp.  $B''$  répondrait à cette 3<sup>e</sup> explic.

Mais avant d'avoir recours à une de ces 3 explic. il vaudrait tâcher de rapprocher l'exp.  $E$  des condit. de l'exp.  $D$  et voir si le désaccord subsisterait.<sup>2</sup> Je veux dire par exemple qu'on pourrait diviser les secteurs par des rainures circulaires, partager les balais en portions isolées les unes des autres et correspondant aux intervalles entre les rainures circulaires dont je viens de parler, réunir enfin les points correspondants des 2 balais par un fil.

Je m'exprime bien mal, mais je vais faire une figure pour tâcher de mieux me faire comprendre.



Voici le disque tournant avec les parties dorées hachées.



Voici les deux balais  $AB$ ,  $A'B'$  avec avec les parties conductrices en noir et les fils qui réunissent ces parties conductrices.

(C'est ce que j'appellerai l'exp.  $E'$ )

Passons à la 2<sup>e</sup> contradiction, ou plutôt à celle que j'avais signalée d'abord et qui est inhérente à la notion même de courant ouvert.

Pour la lever il faut étudier ce qui se passe dans le voisinage de l'extrémité d'un courant ouvert et comment dans ce voisinage se comporte l'appareil astatique.

Or pour réaliser le courant ouvert il y a deux moyens, l'exp.  $D$  et l'exp.  $E$ . L'exp.  $D$  sous sa forme primitive donne un résultat négatif nous le savons mais nous pouvons la varier, en remplaçant les rainures circulaires par des rainures radiales.<sup>g</sup> C'est ce que j'appellerai l'exp.  $D'''$ . Les courants de convection sont alors circulaires et les courants de conduction radiaux.

De même dans l'exp.  $E$  en réunissant les balais par le galvanomètre on aura des courants de convection circulaires et des courants de conduction radiaux dans les balais.

Il sera d'abord intéressant de reconnaître s'ils se comportent de la même manière.

Il faudra voir ensuite si le champ magnétique produit par ces courants de conduction est symétrique par rapport à ces courants radiaux rectilignes, c'est-à-dire s'il est le même du côté où règnent les courants de convection et du côté opposé.

Il faudra voir suivant quelles lois il varie le long d'un de ces courants et surtout dans le voisinage de l'extrémité.

Une difficulté provient de ce que ce courant ne commence pas en un point déterminé; le long du balais par ex. le courant faible à l'extrémité supérieure, a une intensité qui va en croissant jusqu'à l'extrémité inférieure puis que le balai recueille par tous ses points l'électricité provenant du plateau tournant. Avec la disposition de l'exp.  $E'$ , on n'a pas cet inconvénient.

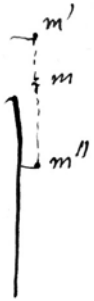
On pourrait aussi réunir<sup>h</sup> les deux balais par une série de fils circulaires, dont l'espacement

<sup>g</sup>Variante : "les coupures rainures circulaires".

<sup>h</sup>Variante : "On pourrait aussi enlever".



serait calculé de façon à égaliser les résistances, de façon qu'il n'y ait pas de courants radiaux. Ces fils circulaires seraient placés tout contre le disque tournant. J'appellerai cela la disposition  $E'_1$ .



Cette disposition  $E'_1$  équivaldrait par ses effets à la disposition  $E'$ . Précisons un peu ce qu'il y a à étudier.

Supposons un courant rectiligne, mais non indéfini. Cherchons la force magnétiq. en un point; nous aurons la compos. parallèle au courant, et la compos. perp.<sup>i</sup>

Considérons cette dernière; en un point  $m$  situé à une distance constante  $\rho$  de l'axe du courant ou du prolongement de cet axe.

Si le point  $m$  est en  $m''$  à une certaine distance de l'extrémité la force sera  $i/\rho$ ; si  $m$  est en  $m'$  à une distance suffisante de l'extrémité, la force sera nulle, comment varie-t-elle dans l'intervalle. Comment la loi de cette variation dépend-elle de  $\rho$ .

#### Exp. de Carvalho<sup>3</sup>

Pour équilibrer le barreau de Carvalho, nous devons nous arranger pour que sous l'action de la pesanteur et des champs magnétq. permanents ce barreau soit en équilibre indifférent. En déplaçant le centre de gravité on peut y arriver *théoriquement si le champ magnétq. permanent est uniforme*; cela n'est généralement pas possible dans le cas contraire. On ne pourra y arriver alors ou en approcher qu'en combinant plusieurs moyens de réglage, en ayant par exemple, outre les poids compensateurs destinés à faire varier le centre de gravité, un système d'aimants compensateurs.

Quelque mot enfin sur l'exp. A. D'après les anciennes idées, l'électricité devrait s'accumuler à l'une des extrémités de chaque demi anneau, la densité serait donc plus forte à cette extrémité qu'à l'extrémité opposée, la "pression électrostatique" qui est proportionnelle au carré de cette densité superficielle serait plus forte à une extrémité qu'à l'autre, ce qui entraînerait la rotation du  $1/2$  anneau.

Qu'est-ce qui n'est pas vrai dans tout ça ?

Est-ce l'électricité qui ne se porte pas à une extrémité. Pour le savoir, il faudrait diviser chaque  $1/2$  anneau en 2 parties que l'on pourrait mettre en communic. à volonté; on mettrait la communication, on ferait varier le champ magnétique de façon à faire passer le courant induit direct et on romprait la communication pendant qu'il passe.

Ou bien est-ce la pression électrost. qui n'est pas comme le carré de la densité ;

Ou bien y'a-t-il des forces qui seraient appliquées à l'intérieur du  $1/2$  anneau et non aux extrémités et qui compenseraient l'effet de ces pressions.

Dans quel ordre maintenant conviendrait-il de faire ces expériences.

Je crois qu'il faut commencer par les plus faciles  $D''$  et  $D'''$  par ex., j'attacherais aussi de l'importance à  $B'$  et  $B''$ ; puis à  $E'$  ou  $E'_1$ .

Pardon de la longueur et du décousu de ma lettre.

Tout à vous,

Poincaré

<sup>i</sup>Variante : "Cette dernière doit être finie à une cert".

A propos de l'exp. A je vous communique une lettre de Righi.<sup>4</sup>

**ALS 9p. Archives de l'Académie des sciences. Transcrite par Indorato et Masotto (1989).**

<sup>1</sup>En notation moderne :  $4\pi j = \vec{\nabla} \times \vec{H}$ .

<sup>2</sup>Lire : il vaudrait mieux tâcher.

<sup>3</sup>Emmanuel Carvallo (§ 14) propose l'expérience en question dans une note (1901) présentée à l'Académie des sciences par Émile Sarrau le 23.12.1901 (son titre, "Lois de l'inertie électrique", fut transformé par erreur en "Lois de l'énergie électrique"). Le 09.06.1902, Carvallo critique le dispositif expérimental de Crémieu, et tient son résultat nul pour "conforme aux principes essentiels de Maxwell" (1902b). Dans sa réponse du 16 juin, présentée à l'Académie des sciences par Gabriel Lippmann, Crémieu affirme avoir pris en compte les points soulevés par Carvallo.

<sup>4</sup>Augusto Righi (1850–1920) est professeur de physique à Bologne. Il essaie de reproduire les expériences de Crémieu, sur lesquelles il fait un rapport (1901a, 252) devant la société italienne de physique en septembre 1901, sans obtenir des résultats stables, à cause, dit-il, de l'extrême difficulté de l'expérience. La lettre de Righi à Poincaré n'a pas été retrouvée. Voir aussi à ce propos la correspondance avec Tullio Levi-Civita (§37.2).

## 17.12 Poincaré à Crémieu

[Ca. 1902]

Cher Monsieur,

Je ne comprends pas votre découragement. Vos premières recherches ont attiré l'attention de tous les physiciens et les discussions mêmes auxquelles elles ont donné lieu prouvent l'intérêt qui s'y attache.

Vous n'avez donc qu'à persévérer et vous êtes sûr d'arriver à rendre de très sérieux services à la science. Les difficultés que vous rencontrez ne sont que momentanées ; ce sont celles que l'on rencontre dans toutes les recherches nouvelles. Je ne doute pas que vous n'en triomphiez, car vous en avez déjà bien des fois vaincu de pareilles.

Votre bien sincèrement dévoué,

Poincaré

**ALS 2p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989, P14).**

## 17.13 Crémieu à Poincaré

4 juin 1902

Cher Maître,

Voici les passages de votre article à la *revue générale des Sciences* du 30 Nov. 1901 auquel je faisais allusion ce matin :<sup>1</sup>

1<sup>o</sup> (Page 1003, 1<sup>re</sup> Colonne) « Si nous avons un écran derrière lequel des charges positives se déplaceraient par convection, *dans un mouvement rectiligne de translation*, il est clair qu'elles induiraient sur l'écran des charges de nom contraire, qui se déplaceraient parallèlement, *mais par conduction*, de sorte qu'il y aurait compensation entre les deux sortes de courants.

Mais si l'écran est circulaire et si les charges mobiles sont entraînées dans un mouvement de rotation, voici ce qui arrive : les charges induites sur l'écran restent toujours vis à vis des charges mobiles et se déplacent avec elles ; *ce déplacement se fait par conduction* ; mais ici ces charges induites peuvent aller d'une position à une autre par deux chemins, par le plus court, et en faisant le tour de la circonférence. Cela fera deux courants de conduction, l'un direct, l'autre inverse. »

2<sup>o</sup> (Page 1004) 1<sup>re</sup> tentative. « Dans un premier dispositif, on fait tourner un disque doré, dont la dorure est interrompue par une série de rainures circulaires ; ces rainures sont en communication avec le sol . . .

Vis à vis de ce disque tournant on place un secteur métallique fixe en communication avec une batterie d'accumulateurs. Ce secteur et la dorure du disque tournant vont former les deux armatures d'un condensateur. Le secteur fixe va se charger positivement, par exemple, et le disque mobile se chargera négativement par influence. Seulement, ces charges négatives resteront toujours dans la partie du disque qui est vis à vis du secteur fixe ; elles seront donc fixes dans l'espace ; mais comme le disque qui les porte est en mouvement, elles seront en mouvement relatif par rapport à ce disque.

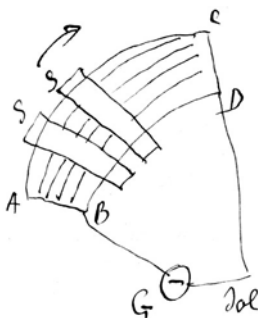
Les charges positives, étant fixes dans l'espace, et fixes par rapport au conducteur qui les porte, ne produiront aucune action magnétique. Qu'arrive-t-il maintenant dans le disque mobile ?

Si les charges négatives étaient invariablement fixées au disque, elles seraient entraînées ce qui constituerait un courant de convection . . .

Il se produira donc des différences de potentiel entre les petits conducteurs et si l'isolement n'est pas parfait, des courants de conduction qui tendront à diminuer la différence de potentiel.

Les différences de potentiel qui pourront se maintenir ainsi seront évidemment d'autant plus grandes que l'isolement sera meilleur ; dans le cas de notre disque doré ces différences seront extrêmement petites.

Les charges négatives sont donc soumises *d'une part à un courant de convection* qui tend à les écarter de leur position normale vis à vis du secteur fixe, et, d'autre part, à *des courants de conduction* qui les y ramènent sans cesse. »



Vous montrez ensuite que ces courants se distribueront dans les couronnes d'après les résistances relatives des parties de ces couronnes couvertes et non couvertes par le secteur fixe.

Je n'ai rien obtenu avec cette expérience, pas plus derrière le secteur fixe que près des autres parties du disque.

Or l'expérience que j'ai faite ces jours-ci est la suivante : Des secteurs mobiles, chargés et isolés *SS* se déplacent devant une nappe conductrice plane *ABCD*, divisée en couronnes circulaires par des rainures, et reliée au sol par l'intermédiaire d'un galvanomètre.

Si j'ai bien compris les raisonnements que vous avez appliqués à l'expérience que je viens de rappeler, voici ce que je trouve en les appliquant au cas actuel : Sur la nappe fixe, en face d'un secteur mobile *S* supposé positif, il y a une charge négative développée par

influence, qui va suivre la charge de  $S$  dans son mouvement. Mais sur le secteur mobile  $S$  il y a convection seulement. Sur la nappe fixe il y a d'une part une convection qui donne un mouvement relatif aux charges négatives par rapport à la matière ; il en résultera des différences de potentiel qui donneront des courants et ceux-ci se distribueront entre le chemin le plus court, c'est-à-dire la partie sous le secteur mobile, et le plus long, c'est-à-dire le galvanomètre.

Ou bien, si comme dans la 1<sup>re</sup> citation vous admettez qu'il y a simplement déplacement des charges négatives par conduction sur la nappe, il est impossible d'après les lois d'Ohm et de Kirschhoff, que cette conduction ne se retrouve pas en tous les points du conducteur fermé, et par conséquent dans le galvanomètre.<sup>2</sup>

Si donc je ne me trompe pas, comme d'une part je connais la valeur des charges transportées par les secteurs mobiles, d'autre part la valeur relative de la résistance des différentes parties du circuit fixe, je puis calculer ce qui passera au galvanomètre.

Or dans les 2 essais que j'ai fait, les données étaient les suivantes :

1 <sup>re</sup> Nappe : résistance par unité de longueur	$0\omega$ , 01 environ.
2 <sup>e</sup> — " " "	$0\omega$ , 4 environ.
Longueur moyenne des nappes	22 centimètres
Largeur des secteurs fixes	5 centimètres (environ).
Résistance du galvanomètre et des fils	$29 \omega$ hms.
Quantités d'électricité transportées par seconde, par les secteurs fixes	$1/15.000$ de coulomb.

Or je n'ai absolument rien observé au galvanomètre ; sa sensibilité était d'abord 1 mm pour  $1/3 \times 10^{-6}$  ampère, puis 1 mm pour  $1/2 \times 10^{-7}$  ampère.

Je crois vraiment que les impulsions que j'observe sont dues aux courants de charge dans le tube ; ces courants peuvent être beaucoup plus fort que je le pensais d'abord, à cause de la pénétration des charges dans le mica paraffiné qui protège l'extrémité du tube contre les aigrettes.

D'ailleurs ces charges doivent pénétrer d'une façon irrégulière, et ne pas s'inverser tout de suite, ce qui s'accorderait assez bien avec le fait que si on renverse le sens de rotation on ne retrouve pas de suite des effets nets, et qu'il faut un certain temps.

Je vais faire qq essais dans ce sens.

Très respectueusement à vous,

V. Crémieu

**ALS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1901b).

<sup>2</sup>Il s'agit des lois d'Ohm et de Kirchhoff.

## 17.14 Poincaré à Crémieu

[Ca. 23–24.07.1902]

Cher Monsieur,

Votre note paraîtra samedi, je l'ai corrigée l'autre jour.<sup>1</sup>

Vous ne me donnez pas de détail sur votre expérience. Comment les gouttes d'alcool étaient-elles suspendues dans le térébenthine ; comment avez-vous obtenu l'égalité de densité.<sup>2</sup>

Comment mesuriez-vous la force.

Aviez-vous une répulsion ou une attraction. Si c'est une répulsion, ce serait un phénomène électrique ; si c'est une attraction ce qui est plus probable, c'est un phénomène capillaire. Avez-vous vu si une goutte d'alcool *unique* tend à gagner le centre du vase, lorsqu'elle n'y a pas été placée tout de suite.

Je vous envoie ci-joint la lettre que je viens de recevoir de lord Kelvin ; dites moi ce que vous en pensez.<sup>3</sup>

Tout à vous,

Poincaré

**ALS 2p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989, P11).**

<sup>1</sup>Crémieu (1902a), note présentée par Poincaré le 21.07.1902.

<sup>2</sup>Entre juillet et septembre 1902, Crémieu (1905c) conduit des expériences au sous-sol d'une ferme aux Ombrès (Hérault), afin de mesurer la force d'attraction entre gouttelettes d'huile dans un liquide. Sur les conseils de Poincaré (§ crémieu17), il ne publie pas ses résultats avant d'avoir terminé ses expériences sur l'effet Rowland.

<sup>3</sup>Poincaré écrit à W. Thomson (Lord Kelvin) le 17.07.1902 afin d'organiser des expériences simultanées entre Crémieu et Pender. Thomson trouve que l'idée est bonne ; voir le brouillon de sa réponse du 21.07.1902 (§ 56.17).

## 17.15 Poincaré à Crémieu

[Après le 23.07.1902]

Cher Monsieur,

L'invitation doit évidemment être faite par M. Bouty puisque c'est chez lui que les expériences auraient lieu.<sup>1</sup> Puisque vous devez le voir, vous pourrez lui en parler. Il se rendra compte s'il peut disposer du local nécessaire. Quand il aurait envoyé son invitation, je l'appuierais au besoin par une lettre.<sup>2</sup> Vous lui montrerez la lettre de lord Kelvin et quand vous la lui aurez montrée, vous me la renverrez. Je pars lundi pour la Suisse, écrivez-moi hôtel Montfleury aux Rasses Ste Croix Vaud Suisse jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre, jusqu'à lundi je suis à Paris.<sup>3</sup>

Les phénomènes que présentent les gouttes *à la surface* s'expliquent aisément par la théorie ordinaire de la capillarité. Il n'en est pas de même pour les gouttes entièrement immergées ou du moins l'explication n'apparaît pas immédiatement. Il n'est pas douteux pourtant que l'explication ne doive être tout à fait analogue à celle qui rend compte des phénomènes superficiels.

Peut-être le phénomène chimique joue-t-il un rôle. S'il y a une légère miscibilité et une lente diffusion, le liquide ne sera plus homogène autour des gouttes et cela suffirait pour tout expliquer.<sup>4</sup>

Tout à vous,  
Poincaré

**ALS 3p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989).**

<sup>1</sup>Édmond Bouty est responsable du laboratoire de l'enseignement de physique de la faculté des sciences.

<sup>2</sup>Il s'agit d'inviter Pender à mener des expériences contradictoires avec Crémieu à Paris. Poincaré a écrit plusieurs lettres à Joseph Ames afin d'organiser le séjour de Pender à Paris (§1.1).

<sup>3</sup>Voir le brouillon de la lettre de W. Thomson, Lord Kelvin (§ 56.17). La société helvétique des sciences naturelles tenait sa conférence annuelle à Genève, et Poincaré projetait de préparer sa communication aux Rasses (§ 52.7).

<sup>4</sup>Crémieu (1905a) cherche à comprendre pourquoi ses gouttelettes d'huile en suspension s'attirent mutuellement.

## 17.16 Poincaré à Crémieu

[Ca. 08–09.1902]<sup>j</sup>

Cher Monsieur,

Je crois en effet que vous n'avez pas dit votre dernier mot sur la convection ; mais je ne crois pas que vous deviez attendre de l'avoir dit pour entrer en rapport avec M. Pender. D'ailleurs nous en reparlerons à la rentrée.<sup>1</sup>

Au sujet de vos expériences sur la gravitation, je dois vous recommander une chose. Ne publiez rien ou tout au moins abstenez-vous de la façon la plus absolue de toute espèce d'interprétation jusqu'à ce que la question de la convection soit plus avancée.<sup>2</sup>

Dans ce moment-ci personne ne vous croirait et vous ne réussiriez qu'à vous discréditer et à empêcher M. Pender d'accepter le rendez-vous proposé.<sup>3</sup>

D'ailleurs je ne doute pas que le résultat ne soit négatif quand toutes les causes d'erreur seront éliminées.

Votre bien dévoué,  
Poincaré

**ALS 2p. Archives de l'Académie des sciences de Paris. Transcrite par Indorato et Masotto (1989, P13).**

<sup>1</sup>Harold Pender (§ 45).

<sup>2</sup>Crémieu présente ses idées sur la gravitation lors de la réunion de la *British Association* à Glasgow en septembre 1901 (Indorato et Masotto 1989, 134). Entre juillet et septembre 1902, Crémieu observe le mouvement de gouttelettes d'huile dans un liquide afin de mesurer la force d'attraction gravitationnelle ; voir (§17.14), note 2.

<sup>3</sup>Poincaré vient d'inviter Harold Pender à Paris afin de faire des expériences en parallèle avec Crémieu (§ 45.1).

<sup>j</sup>Le manuscrit comporte deux figures en crayon de main inconnue, sur sa 3<sup>e</sup> feuille. Elles ne semblent pas être en rapport direct avec le reste du manuscrit.

## 17.17 Poincaré à Crémieu

[Ca. 06–10.1905]

Cher Monsieur,

Ce que vous me dites sur ce brusque changement dans l'allure des sphères dans l'eau à partir de 8 mm m'inquiète.<sup>1</sup> Il y a évidemment une cause perturbatrice, il faut la découvrir car elle doit vicier tous vos résultats.

Votre tout dévoué,

Poincaré

**ALS 1p. Archives de l'Académie des sciences de Paris.**

<sup>1</sup>Crémieu (1905d), avec sa balance quadrifilaire 1905b, mesure la force d'attraction entre des masses mobiles (deux sphères en laiton) et fixes (deux cylindres creux, remplis de mercure) plongées dans un bain liquide, dans son laboratoire aux Ombries (Hérault) entre juin et octobre 1905.

## 17.18 Crémieu à Poincaré

4 février [1903]

V. CRÉMIEU, 6, RUE D'ULM, PARIS

Cher Maître,

Ci inclus je vous envoie les renseignements que vous voulez bien me demander.

Pour le calcul des self inductions je me suis servi de la formule

$$L_s = \frac{N^2 a^2}{1.8a + 3.1c + 3.5b} \times 10^{-7} \text{ henrys}$$

avec les données suivants<sup>1</sup>

	Crémieu	Pender	
$N$	13800	1295	nbre de tours
$a$	22	15	Diam moyen
$b$	5	1.7	longueur
$c$	4	3.8	épaisseur

Respectueusement à vous,

V. Crémieu

Pour le calcul du coefficient d'induction mutuelle je ne sais comment faire. Les disques avaient les dimensions suivants.<sup>k</sup>

<sup>k</sup>Une flèche indique les dimensions précisées dans la colonne du tableau intitulée "Diamètre des couronnes". Dans cette colonne sont indiqués les diamètres interne et externe de l'anneau. Nous rajoutons des lignes horizontales au tableau afin de le rendre plus lisible.

	Résistance de la bobine induite $B$	Résistance du Galvanomètre	Self induction de $B$	Induction mutuelle de $B$ du Disque	Nombre d'interruptions par seconde	Diamètre des couronnes dorées des disques en centimètres
Exp. Crémieu	8790 ohms	4207 ohms	$130 \times 10^9$ centimètres dans l'air	?	5 à 22 en général 15 à 18	10 à 37
Exp. Pender	140 Ohms 140	58.4 ohms	$8.5 \times 10^8$ centimètres dans l'air	?	12 à 20	10 à 30
Exp. Crémieu-Pender	140	58	$8.5 \times 10^8$	?	12 à 20	10 à 30

### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Les données correspondent à celles du rapport lu par Crémieu (1903b) devant la société française de physique le 17.04.1903.

## 17.19 Crémieu à Poincaré

Paris, le 18 Déc. 1903

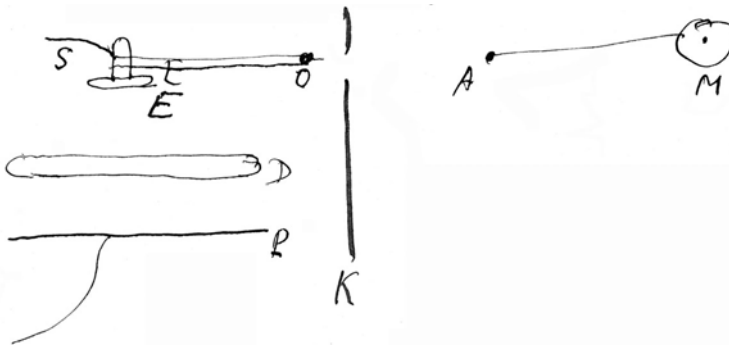
FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS  
PHYSIQUE – LABORATOIRE D'ENSEIGNEMENT

Cher Maître,

Ainsi que vous avez bien voulu me le dire, nous vous attendions, M. Malclès et moi, Dimanche après midi au laboratoire Bouty, à partir de 1h 1/2.<sup>1</sup>

Voici, en attendant, un résumé de ce que nous obtenons :

1° Méthode expérimentale.





Un plateau métallique  $P$  peut être relié avec un des pôles de la Batterie Bouty, l'autre pôle étant au sol.

Au dessus se trouve un petit plan d'épreuve  $E$ , très bien isolé qui vient toucher un contact  $S$  relié au sol ; d'ailleurs, à l'aide du levier  $OE$ , mobile autour de  $O$ ,  $E$  peut être ensuite isolé de  $S$  et mis en contact avec un pôle  $A$  relié à l'électromètre de mesure  $M$ .

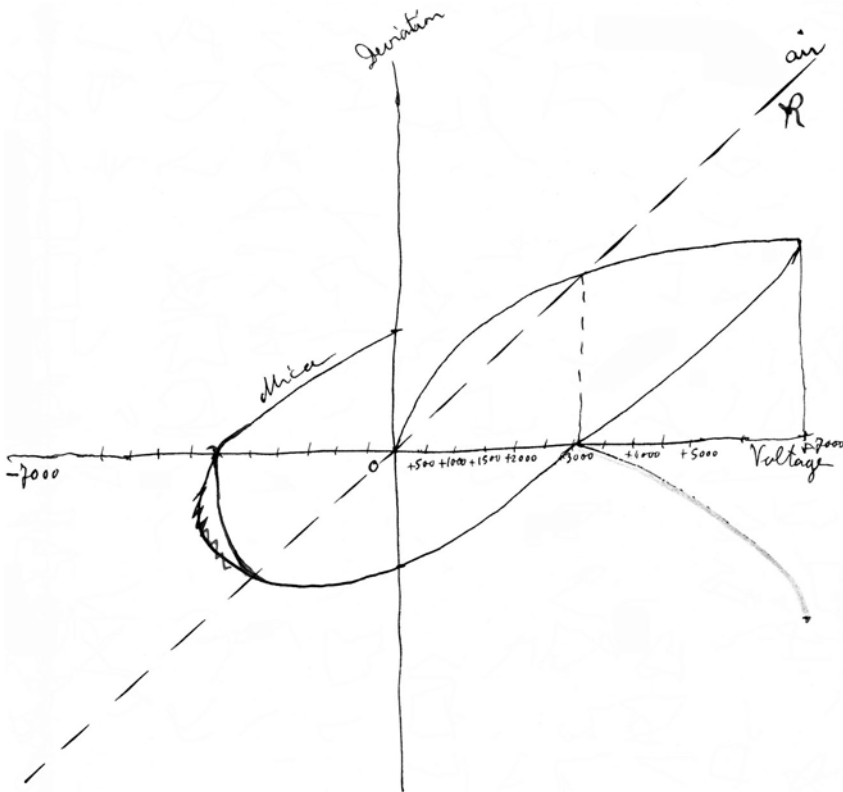
Ce mouvement se fait en traversant un écran métallique  $K$  relié au sol, ce qui évite toute influence directe de  $P$  sur  $A$ .

Dans ces conditions, on charge  $P$  à des voltages croissants et on observe ce qui se passe en reliant  $E$  à  $A$ .

L'appareil est d'abord étalonné en ne mettant rien (que de l'air) entre  $E$  et  $P$  qui sont à 16 mm l'un de l'autre. On obtient ainsi une droite, si on porte en abscisse les voltages en  $P$  et en ordonnées les déviations à l'électromètre  $M$ . On interpose alors entre  $E$  et  $P$ , à égale distance de chacun d'eux, le diélectrique  $D$  à étudier, qui repose par 3 points de sa périphérie sur des tiges d'ébonite.

Dans ces conditions on obtient la courbe ci contre (pour le mica).

Les lectures sont d'une constance parfaite.



D'ailleurs on constate à chaque instant, à partir du moment où la courbe passe en dessous de la droite de l'air, que, si on laisse  $P$  au sol, on a sur  $E$  une charge qui donne une

déviations de sens contraire complémentaire de celle obtenue avec  $P$  chargée; souvent cette déviation est plus forte que le complément à  $OR$ . La courbe de ces déviations serait le trait bleu.<sup>2</sup>

Le verre se comporte à peu près de même mais pour des voltages plus élevés.

Le temps joue un rôle prédominant. Pour avoir des phénomènes nets il faut opérer progressivement, en espaçant chaque élévation du voltage d'intervalles très réguliers (des minutes).

D'ici Dimanche nous espérons avoir fait d'autres séries pour déterminer le rôle que joue l'épaisseur du diélectrique.

Très respectueusement,

V. Crémieu

### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Louis Malclès écrit avec Crémieu deux articles que Poincaré présente à l'Académie des sciences le 14.11 et le 05.12.1904. Des explications de l'effet constaté par Crémieu et Pender (1903b) sont proposées par William Sutherland (1904) et Joseph Larmor (1904), mais la réalité de l'effet est contestée par Alexander Eichenwald (1908). En 1908, Malclès soutient une thèse à la Sorbonne sur ces expériences (Indorato et Masotto 1989, 145n117).

<sup>2</sup>Le trait bleu part de l'abscisse à 3000 V vers le secteur IV.

## 17.20 Poincaré à Crémieu

[Ca. 03–04.1904]

Cher Monsieur,

J'ai commencé l'étude de votre balance quadrifilaire, et voici les réflexions qu'elle m'inspire et qui me paraissent pouvoir servir de base à la théorie que vous désirez.<sup>1</sup>

Si vous le voulez bien, nous examinerons d'abord un cas un peu différent de celui que vous avez en vue, mais qui nous y mènera facilement. Je suppose que le fléau, au lieu d'osciller sur un couteau porté par le flotteur, ne fait qu'un avec le flotteur qui s'incline avec lui. Je viendrai plus tard au cas du couteau et à celui où le fléau oscille non sur un couteau, mais sur le sommet d'un cône porté par le flotteur.

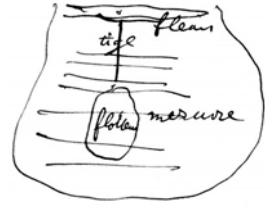
Il faut d'abord que j'introduise deux notions fondamentales.

1° La première est celle des droites  $D$  et  $\Delta$ . J'appelle ainsi les deux droites qui rencontrent les 4 fils. Les 4 fils sont à peu près verticaux mais ils ne le sont pas tout à fait, puisqu'on leur a donné une torsion préalable. Dans ces conditions, il y a 2 droites et 2 seulement qui rencontrent les prolongements des 4 fils. Tout mouvement infiniment petit du fléau peut se ramener à une rotation autour de  $D$  accompagnée d'une rotation autour de  $\Delta$ . Si j'envisage un point quelconque du fléau, ce point peut décrire une infinité de trajectoires, toutes normales à une droite qui rencontre  $D$  et  $\Delta$ .

Dans la position d'équilibre initial, le système admet un plan de symétrie et les 4 fils sont symétriques 2 à 2. La droite  $D$  est perpend. au plan de symétrie; la droite  $\Delta$  est dans le plan de symétrie.

2° La 2<sup>de</sup> notion est celle du centre de gravité effectif. Nous avons les poids suivants

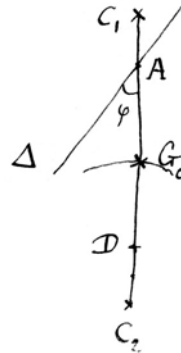
1° le poids du fléau; 2° la poussée du mercure; 3° le poids du flotteur lui-même, y compris le lest qu'il faut lui mettre pour qu'il ne culbute pas (en quoi sera ce lest?); 4° les poids des plateaux avec ce qu'ils portent. Toutes ces forces sont verticales; elles ont des valeurs parfaitement déterminées, parce que je suppose que le flotteur sort de la surface du mercure par une tige très mince  $T$  comme ceci



de sorte qu'il peut s'enfoncer un peu sans que la poussée varie notablement. Les 3 premières forces ont des points d'application parfaitement déterminés dans le corps solide fléau + flotteur; il en est de même de la 4<sup>e</sup> il faut supposer les poids des plateaux appliqués à leur point de suspension sur le fléau.

Toutes ces forces auront donc une résultante unique verticale, appliquée en un point  $G$  parfaitement déterminé dans le solide fléau et que j'appelle le centre de gravité effectif. Dans la position d'équilibre la verticale du centre de gravité  $G$  doit rencontrer les droites  $D$  et  $\Delta$ .

3° Introduisons maintenant la notion de la surface  $S$ ; c'est le lieu du point  $G$ ; au point  $G_0$ , (position initiale d'équilibre du point  $G$ ) le plan tangent à la surface  $S$  est horizontale. Cette surface  $S$  est symétrique par rapport au plan de symétrie. Considérons deux sections normales de la surface, l'une sera le plan de symétrie, l'autre sera perpend.; la 1<sup>re</sup> aura pour centre de courbure  $C_2$ , la 2<sup>de</sup> aura pour centre de courbure  $C_1$ . Je représente en  $G_0$  la normale à la surface  $S$ ; cette normale est verticale; elle rencontre la droite  $\Delta$  en  $A$ ; elle rencontre en  $D$  la droite  $D$  qui se projette en un point unique parce q. je prends le plan de sym. pour plan du tableau, elle passe par les deux centres de courbure  $C_1$  et  $C_2$ .



Quelles sont alors les conditions d'équilibre quand on ajoute un poids additionnel  $dP$ ; ce poids  $dP$  est bien entendu supposé appliqué au point de suspension du plateau. Soit  $\mathcal{M}_1$  et  $\mathcal{M}_2$  les moments du poids  $dP$  par rapport aux droites  $\Delta$  et  $D$ .

Le système va tourner d'un angle  $d\omega_1$  autour de  $\Delta$  et d'un angle  $d\omega_2$  autour de  $D$ . Nous aurons pour l'équilibre :

$$\mathcal{M}_1 = p \frac{G_0 A^2}{G_0 C_1} \sin^2 \varphi d\omega_1 \quad p \text{ représente la résultante des 4 forces verticales dont il a été question plus haut, c'est-à-dire la portion du poids supportée par le quadrifilaire.}$$

$$\mathcal{M}_2 = p \frac{G_0 D^2}{G_0 C_2} d\omega_2.$$

Comment ces résultats sont-ils modifiés :

1° Si le fléau au lieu d'être solidaire du flotteur pivote sur une pointe conique portée par le flotteur. Dans ce cas le fléau supporte une force verticale, égale à la poussée du mercure moins le poids du flotteur; cette force est appliquée à la pointe conique. On calculera donc la position du centre de gravité effectif  $G$  comme si la 2<sup>de</sup> et la 3<sup>e</sup> des 4 forces dont il a été question plus haut, étaient appliquées, non pas l'une au centre de poussée, l'autre au centre de gravité du flotteur, mais toutes deux à la pointe conique. Par là le point  $G$  se

trouve relevé ainsi que les centres  $C_1$  et  $C_2$ .



2° Si le fléau repose sur l'arête d'un couteau cela est plus compliqué. Soit  $B$  le milieu de l'arête ; soit  $\Pi$  la poussée moins le poids du flotteur,  $H$  le point d'application de la résultante  $\Pi$  de la poussée et du poids du flotteur. Soit  $P$  le poids du fléau et des plateaux, de telle façon que  $P - \Pi$  soit le poids supporté par les 4 fils. Soit  $K$  le point d'application de  $P$ .

Dans le 1<sup>er</sup> cas (fléau solidaire du flotteur) le point  $G$  s'obtient en composant la force  $P$  appliquée en  $K$  et la force  $-\Pi$  appliquée en  $H$  ; dans le 2<sup>d</sup> cas (fléau pivotant sur une pointe) en composant  $P$  appliqué en  $K$  et  $-\Pi$  appliqué en  $B$ .

Qu'arrive-t-il dans le 3<sup>e</sup> cas ?

Le fléau s'incline ; la droite  $KB$  cesse d'être verticale ; et la droite  $BH$  dans le 1<sup>er</sup> cas (fléau solidaire) elle reste dans le prolongement de  $KB$  ; dans le 2<sup>d</sup> cas elle reste verticale, et dans le 3<sup>e</sup> cas, elle se déplace de telle façon qu'elle reste perpendiculaire à l'arête du couteau et que le plan de la droite  $BH$  et de l'arête du couteau soit vertical. Si le déplacement est tel que l'arête du couteau reste horizontale, la droite  $BH$  restera verticale (comme dans le 2<sup>d</sup> cas). Si le déplacement est tel que l'arête du couteau et  $KB$  restent dans un même plan vertical la droite  $BH$  restera dans le prolongement de  $KB$  (comme dans le 1<sup>er</sup> cas).

Considérons une rotation autour de la droite  $D$  ; le plan de symétrie restera un plan de symétrie. L'arête du couteau et la droite  $KB$  resteront dans ce plan de symétrie, qui restera vertical. Donc la droite  $BH$  restera dans le prol. de  $KB$  ; il faut donc dans l'application de la formule :

$$M_2 = p \frac{\overline{G_0 D^2}}{G_0 C_2} d\omega_2$$

calculer les positions de  $G_0$  et de  $C_2$  comme dans le 1<sup>er</sup> cas, c'est-à-dire en appliquant la poussée  $-Pi$  en  $H$ .

Considérons au contraire une rotation autour de la droite  $\Delta$  ; l'arête restera horizontale sensiblement. Donc la droite  $BH$  restera verticale ; il faut donc dans l'application de la formule :

$$M_1 = p \frac{\overline{G_0 A^2}}{G_0 C_1} \sin^2 \varphi d\omega_1$$

calculer les positions de  $G_0$  et de  $C_1$  comme dans le 2<sup>d</sup> cas, c'est-à-dire en appliquant la poussée  $-\Pi$  en  $B$ .

Ainsi nos formules restent applicables au 3<sup>e</sup> cas, mais à la condition de définir autrement le centre de gravité selon qu'on applique la formule de  $d\omega_1$  ou celle de  $d\omega_2$ .

La formule qui donne  $d\omega_2$  (rotation autour de  $D$ ) ne vous intéresse pas au point de vue de la sensibilité ; mais vous devez vous en préoccuper au point de vue de la stabilité. Il faut que le point  $G_0$  (défini comme dans le 1<sup>er</sup> cas,  $-\Pi$  appliqué en  $H$ ) soit au dessous de  $C_2$ . Vous êtes vous suffisamment préoccupé de cette stabilité ; à ce point de vue la disposition du 2<sup>d</sup> cas (pivot conique) serait préférable.

La formule qui donne  $d\omega_1$  (rotation autour de  $\Delta$ ) est celle qui donne la sensibilité.<sup>1</sup> Évaluons d'abord  $M_1$ . Soit  $\ell$  la longueur du fléau ; ce sera notre bras de levier (si  $\Delta$  passe

<sup>1</sup>Variante : "donne la stabilité".

très près de l'origine, ce qui arrivera d'ordinaire) ce sera en tout cas un minimum de notre bras de levier. Seulement la composante efficace ne sera pas  $dp$ , mais seulement  $dp \sin \varphi$  ; donc

$$M_1 = \ell dp \sin \varphi$$

d'où :

$$\ell dp = p \frac{\overline{G_0 A^2}}{G_0 C_1} \sin \varphi d\omega_1.$$

C'est surtout sur la petitesse de  $\sin \varphi$  que vous comptez pour avoir une extrême sensibilité. Le problème est ainsi ramené à la construction de la droite  $\Delta$  et du centre de courbure  $C_1$ . Le 1<sup>er</sup> fil prolongé vient couper le plan de symétrie en un point  $M$  ; le fil symétrique passe également en  $M$ .

Le 2<sup>d</sup> fil prolongé vient couper le plan de symétrie en un point  $N$  ; le fil symétrique passe également en  $N$ .

C'est la droite  $MN$  qui est la droite  $\Delta$ .

Vous voyez que vous pouvez disposer le quadrifilaire pour avoir une droite  $\Delta$  à peu près quelconque ; il suffit de disposer convenablement des longueurs des côtés des deux quadrilatères formés par les 4 points d'attache supérieurs et par les 4 points d'attache inférieurs des 4 fils.

Au sujet du point  $G_0$  ; je remarque qu'on l'obtient en composant deux forces appliquées en  $K$  et en  $B$ . Les deux points  $K$  et  $B$  sont très voisins l'un de l'autre ; mais comme les deux forces sont presque égales et de signe contraire, il ne s'ensuit pas que  $G_0$  soit très voisin de  $B$ . Mais dans la pratique on aura intérêt à l'en rapprocher ; seulement cela exige un réglage.

Construction du point  $C_1$

Je considérerai maintenant une seule espèce de mouvement du fléau, c'est celui où la rotation se fait constamment autour de la droite  $\Delta$ .

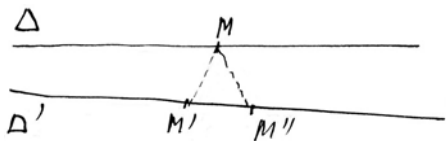
La droite  $\Delta$  décrira dans l'espace une certaine surface réglée  $R$  ; pour un observateur invariablement lié au fléau, elle paraîtrait décrire une surface réglée  $R'$  ; vous savez que le mouvement du fléau est le même que si la surface  $R'$  invariablement liée au fléau, *roulait* sur la surface  $R$ . Dans la position initiale, la droite  $\Delta$  est dans le plan de symétrie, et par symétrie le plan tg commun à  $R$  et à  $R'$  doit être perpend. au plan de symétrie ; il est donc le même tout le long la génératrice. D'où cette conséquence que les éléments des surfaces  $R$  et  $R'$  que nous avons à considérer sont des éléments de surface développable.

*inutile à lire en 1<sup>re</sup> lecture<sup>m</sup>*

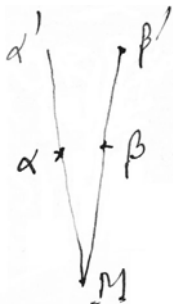
---

Pour aller plus loin, commençons par définir la vitesse du point  $M$ .

<sup>m</sup>Le manuscrit comporte un cadre d'encre rouge autour du texte de ce point jusqu'au mot souligné : "*inutile*".



Dans sa position initiale la droite  $\Delta$  rencontre en  $M$  les deux 1<sup>ers</sup> fils symétriques. Soit  $\Delta'$  une position infiniment voisine de la droite  $\Delta$ , cette droite  $\Delta'$  rencontrera en  $M'$  le prolong. de la nouvelle position du 1<sup>er</sup> fil, et en  $M''$  celle du 2<sup>d</sup> fil.



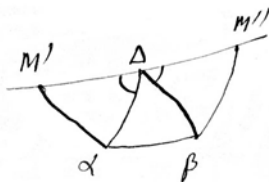
Je représente en  $\alpha$  et  $\beta$  les points d'attache inférieurs des deux fils ; en  $\alpha'$  et  $\beta'$  les points d'attache supérieurs qui sont fixes.

Si je connaissais la vitesse du point  $\alpha$  en grandeur et direction, je connaîtrais  $MM'$  ; car  $MM'$  doit être vu du point fixe  $\alpha'$  sous le même angle que le chemin parcouru par le point  $\alpha$  dans le temps  $dt$ .

La vitesse de  $\alpha$  est perp. au plan de  $\alpha$  et de la droite  $\Delta = MN$ . Le plan de  $\alpha'$  et de cette vitesse passe donc par la droite  $\alpha'\alpha M$  et est perp. au plan de cette droite et de  $\Delta$ . Or  $MM'$  est dans ce plan, et en outre dans un plan passant par  $\Delta$  et perp. au plan de symétrie (plan tg à  $R$ ). Cela détermine sa direction.

Considérons donc le trièdre formé par les deux fils et la droite  $\Delta$  ; ce trièdre a un plan de symétrie qui est son plan bissecteur intérieur. Le plan tg à  $R$  est le plan bissecteur extérieur du dièdre  $\Delta$ . C'est l'intersection de ce plan bissecteur etc.

Je représente le trièdre par un triangle sphérique :



je mène par  $M$  les droites  $\Delta$ ,  $M\alpha$ ,  $M\beta$ ,  $MM'$  et  $MM''$  qui viennent percer la sphère de centre  $M$  aux points  $\Delta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $M'$  et  $M''$ . Le triangle sphér.  $\Delta\alpha\beta$  est isocèle, le grand cercle  $M'\Delta M''$  est la bissectrice extérieure de l'angle  $\Delta$ . Les angles  $M'\alpha\Delta$ ,  $M''\beta\Delta$  sont droits.

Quant à la grandeur de la vitesse du point  $M$  pour aller de  $M$  en  $M'$  elle inutile

Pour construire le point  $C_1$ , cela revient à construire la composante verticale de l'accélér. du point  $G_0$ , laquelle est en raison inverse du rayon de courbure  $G_0C_1$ .

Les accélérations peuvent se calculer comme si le système était mobile autour d'un point fixe, parce que l'élément de la surface  $R$  est un élément de surface développable et par conséquent un élément de cône. Le point fixe se trouve sur la droite  $\Delta$ , mais je ne sais pas où.

L'accélération sera donc la résultante de deux autres : 1<sup>o</sup> de l'accél. centripète, due à la rotation autour de  $\Delta$ , qui se calcule d'après la formule ordinaire de la force centrifuge. 2<sup>o</sup> de l'accél. due à l'accélér. angulaire et qui se calcule comme il suit. Soit une droite  $\Theta$  qui représente en grandeur et direction l'accél. angulaire (et qui coupe  $\Delta$  au point fixe). L'accél. (due à  $\Theta$ ) d'un point  $Q$  quelconque sera représentée par le même vecteur que la

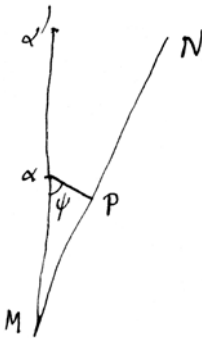
vitesse qu'aurait ce même point  $Q$  dans une rotation représentée par cette même droite  $\Theta$ .

Cette droite  $\Theta$  est dans le plan  $tg$  à  $R$ , plan perp. au plan de sym. Je puis supposer qu'elle est elle-même perp. au plan de sym. Cela revient à supposer que la vitesse angulaire autour des droites  $\Delta$  successives est constante.

J'appellerai  $J$  la 1<sup>re</sup> partie de l'acc. (centripète),  $J'$  la 2<sup>de</sup> (due à  $\Theta$ ).

J'ai besoin d'envisager la composante de l'accél. du point d'attache inférieur de chaque fil, dans la direction du fil, et la composante verticale de l'accél. de  $G_0$ .

Soit  $\alpha$  et  $\alpha'$  les deux points d'attache du fil,  $MN$  la droite  $\Delta$ ,  $\alpha P$  la perp. abaissée de  $\alpha$  sur  $MN$ ,  $v$  la vitesse de  $\alpha$ . On aura pour les comp. de l'acc. de  $\alpha$  suivant le fil  $\alpha\alpha'$  :



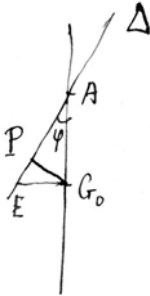
$$J + J' = \frac{v^2}{\alpha\alpha'};$$

$$J = \frac{v^2}{\alpha p} \cos \psi = \frac{v^2}{\alpha M}$$

Or le fil étant sensiblement vertical,  $\alpha M$  est très grand par rapport à  $\alpha\alpha'$ ,  $J$  très petit par rapport à  $J + J'$  de sorte qu'on a sensiblement

$$J' = \frac{v^2}{\alpha\alpha'}.$$

Pour le point  $G_0$  cherchons<sup>n</sup>  $J$  (composante verticale); car le point  $G_0$  étant dans le plan de symétrie; le plan  $G_0\Delta$  est vertical et on a si  $\omega$  est la vitesse angulaire autour de  $\Delta$ ; vitesse de  $G_0 = \omega G_0 P$ .



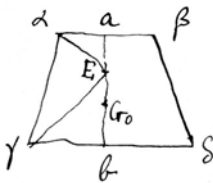
$$G_0 P = G_0 A \sin \varphi;$$

$$J = \omega^2 G_0 P \frac{\sin \varphi}{t};$$

$$J + J' = \frac{\omega^2 G_0 P^2}{G_0 C_1};$$

si donc on avait  $J' = 0$  on aurait<sup>o</sup>

$$G_0 C_1 = \frac{G_0 P}{\sin \varphi} = G_0 A.$$



Il faut maintenant calculer  $J'$ . Je représente en  $\alpha\beta\gamma\delta$  le trapèze formé par les quatre points d'attache des fils. Je suppose le point  $G_0$  dans le plan de ce trapèze et je place en  $E$  le point d'intersection de ce plan avec  $\Delta$ ; on a  $G_0 E = G_0 A \operatorname{tg} \varphi$ .

<sup>n</sup>Variante : "Pour le point  $G_0$  on a  $J=0$ ;"

<sup>o</sup>Variante : " $J + J' = \frac{\omega^2 G_0 A^2 \sin^2 \varphi}{G_0 C_1}$ ;"

Soit  $\lambda$  la longueur des fils  $\alpha\alpha'$ . Les composantes verticales de  $J'$  sont sensiblement pour les points  $\alpha, \beta$  et pour tous les points de la droite  $\alpha\beta$ , en particulier pour le point  $a$

$$\frac{\omega^2 \alpha E^2}{\lambda} \quad \lambda = \alpha\alpha' \text{ longueur du fil}$$

pour les points  $\gamma, \delta$  et pour tous les points de la droite  $\gamma\delta$ , en particulier pour le point  $b$

$$\frac{\omega^2 \gamma E^2}{\lambda}$$

Pour les autres points du plan on n'a qu'à interpoler linéairement, puisque la droite  $\Theta$  est horizontale.

Supposons en particulier que le trapèze  $\alpha\beta\gamma\delta$  diffère peu d'un rectangle et que le point  $E$  soit très voisin du centre de ce rectangle,  $G_0$  très voisin de  $E$ . Alors

$$\alpha E = \gamma E \quad J' = \frac{\omega^2 \alpha E^2}{\lambda}$$

pour les points  $G_0, \alpha, \beta, \gamma, \delta$ .

$$J + J' = \frac{\omega^2 G_0 A^2 \sin^2 \varphi}{G_0 C_1} = \omega^2 G_0 P \sin \varphi + \omega^2 \frac{\alpha E^2}{\lambda}$$

d'où :

$$\frac{G_0 A^2 \sin^2 \varphi}{G_0 C_1} = G_0 P \sin \varphi + \frac{\alpha E^2}{\lambda}$$

et pour l'équation de stabilité :

$$\mathcal{M}_1 = p \frac{G_0 A^2}{G_0 C_1} \sin^2 \varphi d\omega_1$$

elle devient :

$$\ell dp \sin \varphi = \left( G_0 P \sin \varphi + \frac{\alpha E^2}{\lambda} \right) p d\omega_1$$

Selon qu'on place  $G_0$  d'un côté ou de l'autre de la droite  $\Delta$ , les deux termes

$$G_0 P \sin \varphi \quad \frac{\alpha E^2}{\lambda}$$

sont de même signe ou de signe contraire ; on peut régler de façon à rendre le coeff. de sensibilité

$$G_0 P \sin \varphi + \frac{\alpha E^2}{\lambda}$$

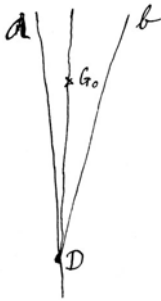
très petit.

Quelques remarques sur le calcul de  $J'$  :



1° Nous avons supposé  $G_0$  dans le plan  $\alpha\beta\gamma\delta$  cela n'est pas nécessaire ; l'axe  $\Theta$  étant horizontal la composante verticale de  $J'$  sera la même pour tous les points d'une même verticale.

2° Nous avons fait le calcul comme si les fils étaient verticaux, cela n'est qu'à peu près vrai.



Je projette sur le plan de sym. Un des fils (et le fil symét.) se projette en  $Da$  l'autre en  $Db$ .

La composante de  $J'$  suivant le fil est

$$\frac{\omega^2 \alpha E^2}{\alpha \alpha'};$$

la composante suivant  $Da$  sera

$$\frac{\omega^2 \overline{\alpha E^2}}{\alpha \alpha' \cos \theta},$$

$\theta$  étant l'angle du fil  $\alpha \alpha'$  avec sa projection  $Da$ , angle négligeable d'ailleurs. En tous les points de la droite  $Da$ , la composante de  $J'$  suivant  $Da$  sera la même soit

$$\frac{\omega^2 (\alpha E)^2}{\alpha \alpha' \cos \theta}$$

Je projette sur le plan de sym. Un des fils (et le fil symét.) se projette en  $Da$  l'autre en  $Db$ .

La composante de  $J'$  suivant le fil est

$$\frac{\omega^2 \alpha E^2}{\alpha \alpha'};$$

la composante suivant  $Da$  sera

$$\frac{\omega^2 \overline{\alpha E^2}}{\alpha \alpha' \cos \theta},$$

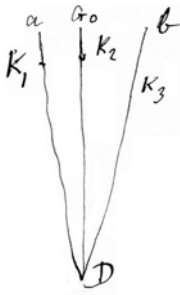
$\theta$  étant l'angle du fil  $\alpha \alpha'$  avec sa projection  $Da$ , angle négligeable d'ailleurs. En tous les points de la droite  $Da$ , la composante de  $J'$  suivant  $Da$  sera la même soit

$$\frac{\omega^2 (\alpha E)^2}{\alpha \alpha' \cos \theta}$$

De même en tous les points de  $Db$  elle sera la même soit  $\theta'$  angle du fil  $\gamma \gamma'$  avec sa projection  $Db$ .

$$\frac{\omega^2 (\gamma E)^2}{\gamma \gamma' \cos \theta'}.$$

Le point  $D$  est l'intersection des deux projections  $Da$  et  $Db$ , c'est la trace de la droite  $D$  que nous avons définie plus haut et qui est perpend. au plan de sym. Les points  $D$  et  $G_0$  sont sur une même verticale et la projection verticale de  $J'$  sur tous les points de cette verticale est la même, elle est donc la même pour  $G_0$  et pour  $D$ .



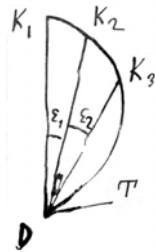
Nous avons donc l'accélération  $J'$  du point  $D$  dont nous connaissons les projections sur  $Da$  et sur  $Db$  et dont nous devons chercher la projection verticale.

Cela est facile d'autant plus que les droites  $Db$ ,  $DG_0$  se coupent sous un angle très aigu. De plus on peut prendre<sup>P</sup>

$$\alpha\alpha' \cos \theta = \gamma\gamma' \cos \theta'.$$

Si  $\alpha E = \gamma E$ , les 3 projections peuvent être regardées comme égales; et l'on a comme nous l'avons montré plus haut

$$J' = \frac{\omega^2 \overline{\alpha E^2}}{\lambda}.$$



Nous retombons sur notre formule de tout à l'heure.

Ou bien; Soit  $DK_1 = \frac{\omega^2 \alpha E^2}{\lambda}$ ,  $DK_3 = \frac{\omega^2 \gamma E^2}{\lambda}$ ,  $DK_2 =$  compos. verticale cherchée de  $J'$ ; les 4 points  $DK_1 K_2 K_3$  sont sur un même cercle. Si  $\alpha E = \gamma E$ , les longueurs  $DK_1$ ,  $DK_2$ ,  $DK_3$  sont sensiblement égales.

Si  $\alpha E$  n'est pas égal à  $\gamma E$  c'est-à-dire si le point  $E$  n'est pas près du centre du trapèze  $\alpha\beta\gamma\delta$ , il n'en est plus ainsi.

Les arcs de cercle  $DK_1$  sont très petits (par rapport au rayon du cercle). Ils peuvent être assimilés à leurs cordes. C'est-à-dire que les 3 composantes  $DK_1$ ,  $DK_2$ ,  $DK_3$  sont e[n]tre elles comme les 3 angles  $K_1 DT$ ,  $K_2 DT$ ,  $K_3 DT$ . Soit alors  $\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  de[s angles des droites]<sup>Q</sup>  $Da$  et de  $Db$  avec la verticale; on aura :

$$\frac{DK_1 - DK_2}{\varepsilon_1} = \frac{DK_2 - DK_3}{\varepsilon_2}$$

ou composante verticale de

$$J' = \frac{\omega^2}{\lambda} \left( \frac{\overline{\alpha E^2} \varepsilon_1 + \overline{\gamma E^2} \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \right)$$

et pour la formule finale de sensibilité :

$$\ell dp \sin \varphi = \left( G_0 P \sin \varphi + \frac{\overline{\alpha E^2} \varepsilon_1 + \overline{\gamma E^2} \varepsilon_2}{\lambda \varepsilon_1 + \lambda \varepsilon_2} \right) p d\omega_1.$$

Vous remarquerez combien la modification des points d'attache des 4 fils en faisant varier la position de droites  $D$  et  $\Delta$  influent sur la sensibilité.

<sup>P</sup>Nous complétons la formule, qui est illisible après  $\gamma\gamma'$ .

<sup>Q</sup>Les crochets enferment des rajouts de main inconnue.

$\ell$	bas de levier du fléau.
$dp$	poids à mesurer.
$p$	poids supporté par le quadrifilaire.
$d\omega_1$	angle de rotation de la balance de torsion.
$G_0P$	distance du centre de gravité effectif à la droite $\Delta$ .
$\phi$	angle de la droite $\Delta$ avec la verticale.
$\alpha E$	distance à la droite $\Delta$ du point d'attache inférieur de l'un des 2 fils de 1 <sup>re</sup> paire. Par <i>paire</i> de fils, j'entends 2 fils sym. par rapport au plan de sym.
$\gamma E$	même distance pour la 2 <sup>de</sup> paire.
$\varepsilon_1$	angle du plan des 2 fils de 1 <sup>re</sup> paire avec la verticale.
$\varepsilon_2$	même angle pour la 2 <sup>de</sup> paire.
$\lambda$	longueur des fils.

Tout à vous,  
Poincaré

**ALS 20p. Archives de l'Académie des sciences de Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré communique son étude (1904e) de la balance à l'Académie des sciences le 11 avril, en même temps qu'une note descriptive de Crémieu (1904a). A ce propos, voir aussi Crémieu (1904b, 1905c).

## 17.21 Poincaré à Crémieu

[Ca. 06–10.1905]

Cher Monsieur,

Je suis désolé d'apprendre l'accident qui vous arrête ; j'espère que vous serez promptement remis.<sup>1</sup> Mais vous ne pouvez songer à reprendre les expériences dans les mêmes conditions. Ne pourriez-vous placer la machine à purifier le Hg au dehors en plein air. Et d'ailleurs est-il nécessaire de le purifier avec tant de soin ; quelle différence quelques impuretés peuvent-elles faire.<sup>2</sup>

Quand vous dites que dans l'eau l'attraction est égale et légèrement supérieure à ce qu'elle est dans l'air, voulez-vous dire, (après avoir fait la correction du principe d'Archimède?)

Votre bien dévoué,  
Poincaré

**ALS 2p. Archives de l'Académie des sciences de Paris.**

<sup>1</sup>La lettre de Crémieu nous manque.

<sup>2</sup>On peut supposer qu'en purifiant du mercure sans ventilation adéquate, Crémieu a eu un malaise. Il s'agit d'une expérience de Cavendish ; voir (§ 17.17).

## Chapitre 18

# Marie Curie

Marie Skłodowska (1867–1934) fait ses premières études à Varsovie, et vient à Paris afin de les continuer à la Sorbonne. Elle prend Pierre Curie (§ 19) comme épouse en 1895, formant ce qui sera le couple le plus célèbre de l'histoire de la physique. Elle soutient sa thèse en 1903, et la même année est récompensée, avec Pierre Curie et Henri Becquerel (§ 4), par le prix Nobel de physique. Lorsque Pierre devient professeur de physique à la Sorbonne en 1904, elle est chef des travaux dans son laboratoire. A la mort de Pierre en 1906, c'est Marie qui le remplace en tant que chargée de cours d'abord, et comme professeur titulaire en 1908. En 1910, elle est candidate à un siège dans la section de physique générale à l'Académie des sciences, avec le soutien de Poincaré, mais c'est Édouard Branly (§ 11) qui est élu. En 1911, Poincaré et Marie Curie participent aux discussions du premier conseil Solvay (§ 53), ainsi qu'une vingtaine de physiciens renommés, dont Albert Einstein et H.A. Lorentz. Quelques semaines après le conseil, les travaux de Marie sont récompensés par un deuxième prix Nobel, cette fois en chimie (*DSB*; Charles et Telkes, 1989; Quinn, 1995).

## 18.1 Poincaré à M. Curie

Lozère 20 avril 1906

Madame,

J'apprends par le journal la terrible nouvelle, je n'ai pas besoin de vous dire combien elle m'a profondément remué.<sup>1</sup> Cet homme si justement illustre, dont le talent égalait le caractère, et d'où émanait je ne sais quel charme, produit délicat de sa modestie et de la finesse de son esprit, n'est plus. On s'apercevra bientôt du vide qu'il laisse en nos rangs, mais en ce moment je pense moins à la perte que vient de faire la Science qu'à la douleur de ceux qu'il laisse derrière lui.<sup>2</sup>

Veillez croire, Madame, à ma profonde sympathie ainsi qu'en mon respectueux dévouement.

Poincaré

**ALS 2p. N.a.fr. 18472 f.97, Bibliothèque nationale de France.**

<sup>1</sup>Pierre Curie est mort par accident le 19.04.1906, renversé par une voiture à cheval.

<sup>2</sup>Poincaré (1906b) fera l'éloge de Pierre Curie dans un discours prononcé le 17.12.1906, en tant que président de l'Académie des sciences.

## 18.2 Poincaré à M. Curie

[Ca. 11–12.1911]<sup>a</sup>

Je suis bien en retard pour vous féliciter ; mais je suis bien heureux pour la France et pour vous.<sup>1</sup>

**AC. N.a.fr. 18460, f. 246, Bibliothèque nationale de France.**

<sup>1</sup>Marie Curie reçut le prix Nobel de chimie à Stockholm au mois de décembre, 1911. Elle avait partagé une moitié du prix Nobel de physique avec son époux Pierre Curie (§19) en 1903, l'autre moitié revenant à Henri Becquerel (§4), avec le soutien de Poincaré, entre autres (§62.9).

---

<sup>a</sup>Carte de visite, de "Henri Poincaré de l'Académie Française et de l'Académie des Sciences."

# Chapitre 19

## Pierre Curie

Avec un diplôme de licence ès sciences, Pierre Curie (1859–1906) commence sa carrière dès 1878, comme préparateur adjoint au laboratoire de physique de la Sorbonne. Il devient professeur à l'École de physique et de chimie industrielles de la Ville de Paris en 1894, et chargé de cours du PCN (Certificat d'études physiques, chimiques et naturelles) à la Sorbonne en 1900. Dans un premier temps il présente sa candidature à la chaire de minéralogie de la Sorbonne, laissée vacante à la mort de Paul Hautefeuille, avant de la retirer. Poincaré soutient sa candidature pour le prix Nobel de physique (§ 62.9), qu'il partage en décembre 1903 avec son épouse Marie (§ 18) et Henri Becquerel (§ 4) ; il est nommé dans une chaire de physique créée pour lui à la Sorbonne l'année suivante. Un accident le tue en 1906, lorsque Poincaré est président de l'Académie des sciences. C'est donc Poincaré qui fait l'éloge de Curie, avec qui il était la veille de l'accident mortel ; il rappelle alors la perte que représente la mort de Pierre Curie pour "la science et la France" (Poincaré 1906b, 989, 1910c, 62 ; *DSB* ; Charle et Telkes, 1989 ; Marie Curie, 1996 ; Hurwic, 1995).

### 19.1 P. Curie à Poincaré

Paris, le 17 février 1903

VILLE DE PARIS, ÉCOLE MUNICIPALE DE PHYSIQUE & DE CHIMIE INDUSTRIELLES  
42, RUE LHOMOND, PHYSIQUE GÉNÉRALE – MR CURIE, PROFESSEUR

Cher Monsieur,

Je renonce à me présenter, et M<sup>f</sup> Lippmann a dû annoncer ma résolution cette après-midi à la commission.<sup>1</sup>

En mettant les choses au mieux pour ma candidature j'aurais pu, au plus, arriver à avoir égalité de voix avec M<sup>f</sup> Wallerant, je ne tiens pas à essayer d'arriver dans ces conditions.<sup>2</sup> Je prêtais somme toute à la critique en acceptant de me charger de cet enseignement. Au contraire au PCN et surtout à l'École de physique je suis certain que mon enseignement est utile, mieux vaut ne pas le quitter.

Je regrette beaucoup d'avoir inutilement dérangé tant de monde. Je vous suis fort reconnaissant pour la bienveillance que vous m'avez témoignée.

Votre tout dévoué,

P. Curie

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Gabriel Lippmann, professeur de physique à la Sorbonne, et futur prix Nobel (1908).

<sup>2</sup>Curie renonce à briguer la chaire de minéralogie à la Sorbonne laissée vacante par le décès de Paul Hautefeuille le 08.12.1902. Frédéric Wallerant (1858–1936), minéralogiste et géologue, Maître de conférences de géologie à l'École normale supérieure sera nommé à cette chaire le 05.03.1903 (Charle et Telkes, 1989, 264).

## 19.2 P. Curie à Poincaré

Paris, le 25 janvier 1903

VILLE DE PARIS, ÉCOLE MUNICIPALE DE PHYSIQUE & DE CHIMIE INDUSTRIELLES  
42, RUE LHOMOND, PHYSIQUE GÉNÉRALE – M<sup>R</sup> CURIE, PROFESSEUR

Cher Monsieur,

J'ai appris qu'il était question de nous proposer M<sup>r</sup> Becquerel et moi pour le prix Nobel pour l'ensemble des recherches sur la radio-activité et que vous vouliez bien vous occuper de cette question.

Ce serait pour moi un très grand honneur, toutefois je désirerais beaucoup partager cet honneur avec M<sup>me</sup> Curie et que nous soyons considérés ici comme solidaires, de même que nous l'avons été dans nos travaux.<sup>1</sup>

M<sup>me</sup> Curie a étudié les propriétés radioactives des sels d'uranium et de thorium et des minéraux radio-actifs. C'est elle qui a eu le courage d'entreprendre la recherche chimique des éléments nouveaux, elle a fait tous les fractionnements nécessaires pour la séparation du radium et déterminé le poids atomique de ce métal, enfin elle a contribué pour sa part à l'étude des rayons et à la découverte de la radioactivité induite. Il me semble que si nous n'étions pas considérés comme solidaires dans le cas actuel ce serait déclarer en quelque sorte qu'elle a seulement rempli le rôle de préparateur, ce qui serait inexact. Veuillez, je vous prie, m'excuser pour l'incorrection de cette lettre, car je n'ai aucunement le droit d'émettre un avis et je devrais même ignorer de quoi il est question.

Agrérez, je vous prie, l'assurance de mes sentiments bien dévoués.

P. Curie

**ALS 2p. Collection particulière. Reproduite dans la brochure de vente de Pierre Bergé & Associés, 2<sup>e</sup> vente Pierre Berès, 28.10.2005, lot 180, p. 270.**

<sup>1</sup>Pierre Curie écrira également à G. Mittag-Leffler le 06.08.1903 afin de partager le prix avec Marie Curie (Crawford, 1984a, 141). Une transcription se trouve dans (Poincaré, 1999, § 205n3).

# Chapitre 20

## C. Delsaux

C. Delsaux est sous-ingénieur des ponts et chaussées à Cambrai (Nord). Pendant les années 1880 il rédige trois articles sur des questions pratiques du génie civil pour les *Annales des conducteurs et commis des ponts et chaussées et des contrôleurs des mines*.

### 20.1 Delsaux à Poincaré

Cambrai, le 30 Mars 1908

Sous Ingénieur des Ponts et Chaussées — rue de Monstrelet 9

Monsieur Poincaré,

Je vous remercie du bienveillant accueil que vous avez daigné faire à ma première communication relative au pendule.<sup>1</sup>

Cette question me tourmente encore. Je poursuis l'œuvre takitechnique de M. E. Lagout ; j'en suis arrivé, dans mon ouvrage à la question du pendule.<sup>2</sup> Ma méthode n'enseigne, du calcul infinitésimal, que la formule

$$\int x^m dx = \frac{x^{m+1}}{m+1}$$

que M. Lagout démontre au moyen d'un rectangle.

Les traités classiques donnent la formule dite de Galilée  $t = \pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$  sans aucun coefficient relatif à l'amplitude de l'angle d'oscillation, ils enseignent ainsi l'isochronisme absolu des oscillations pendulaires, ce qui est une fausse affirmation. L'isochronisme des chutes rectilignes  $AM$ ,  $BM$ ,  $CM$ ,  $DM$  ... etc. est absolu, mais il n'en est pas de même pour les chutes circulaires.

Un professeur d'ici et un jeune ingénieur de Polytechnique me refusent d'admettre la théorie suivante qui découle, comme disait M. E. Lagout, des ombres du calcul algébrique et ne m'inspire pas, pour cette raison, la même certitude qu'une preuve élémentaire, et c'est pourquoi je vous prie d'en être juge.



Si je considère, à un moment donné, la chute  $MN$  d'un corps pesant, dans le vide, selon l'arc ( $\alpha$ ), ce corps franchit l'espace ( $d\alpha$ ) en un temps ( $dt$ ) et avec une vitesse  $\sqrt{rgx}$ , donc :

$$d\alpha = \sqrt{rgx} \cdot dt \tag{20.1}$$

Le professeur ne voulut pas me permettre de poser l'équation (1) cependant, je m'offrais, de la manière suivante, à lui en démontrer le bien fondé.

Chute  $AOB$       Vitesse en ( $O$ ) =  $\sqrt{2gh}$   
                          Vitesse en ( $B$ ) =  $\sqrt{2g(h+h')}$

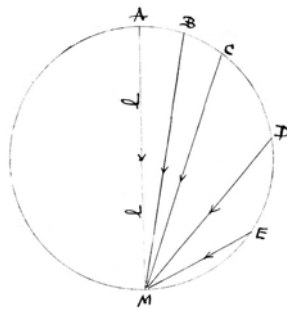
Chute  $COB'$       Vitesse en ( $O$ ) =  $\sqrt{2g'\ell}$       mais  $g' = g \frac{h}{\ell}$

donc                "      =  $\sqrt{2g \frac{h}{\ell} \ell} = \sqrt{2gh}$

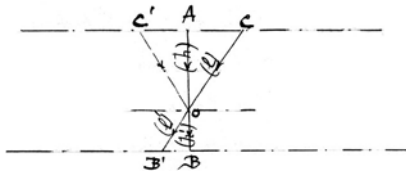
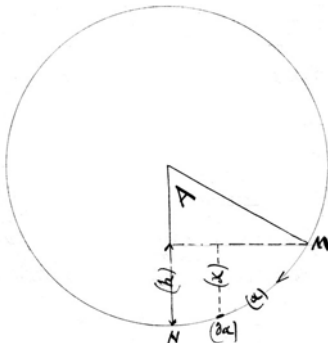
De même :

$$\text{Vitesse en } B' = \sqrt{2g'(\ell + \ell')} = \sqrt{2g(h+h')}$$

Si le corps tombe de ( $C'$ ) c'est la même chose, puisqu'il arrive en ( $O$ ) avec la vitesse  $\sqrt{2gh}$  comme dans les cas précédents.



$$t = 2\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$



Ainsi, sous la seule action de la pesanteur, un corps qui passe du niveau supérieur (AC) au niveau inférieur (BB') arrive à ce dernier niveau animé d'une vitesse  $\sqrt{2g(AB)}$ , quel que soit le chemin qu'il ait suivi.

De l'équation (1) je tire

$$dt = \frac{dx}{\sqrt{2gx}} = \frac{1}{\sqrt{2g}} x^{-\frac{1}{2}} dx$$

et

$$\int dt = \frac{1}{\sqrt{2g}} \int x^{\frac{1}{2}} dx \quad (20.2)$$

Il s'agit de faire la somme de zéro à (h) de tous mes produits variables  $x^{\frac{1}{2}} dx$

Or,

$$\frac{\int d\alpha}{\int dx} = \frac{\alpha}{h} \quad \text{ou} \quad \int d\alpha = \frac{\alpha}{h} \int dx$$

Je multiplie par  $x^{-\frac{1}{2}}$  chaque membre de l'égalité qui précède :

$$x^{-\frac{1}{2}} \int d\alpha = \frac{\alpha}{h} \int dx x^{-\frac{1}{2}}$$

Pour multiplier  $\int d\alpha$  par un nombre, il suffit de multiplier chacun des termes de cette somme par ce nombre

$$\begin{aligned} x^{-\frac{1}{2}} \int d\alpha &= x^{-\frac{1}{2}} d\alpha + x^{-\frac{1}{2}} d\alpha + x^{-\frac{1}{2}} d\alpha \dots \text{etc.} \\ &= \int x^{-\frac{1}{2}} d\alpha = \frac{\alpha}{h} \int x^{-\frac{1}{2}} dx \end{aligned}$$

Je porte cette valeur dans l'équation (2) qui devient :

$$\int dt = \frac{1}{\sqrt{2g}} \frac{\alpha}{h} \int x^{-\frac{1}{2}} dx$$

Or,

$$\begin{aligned} \int_0^h x^{-\frac{1}{2}} dx &= \frac{h^{-\frac{1}{2}+1}}{-\frac{1}{2}+1} = \frac{h^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{2}} = 2\sqrt{h} \\ \int dt = t &= \frac{1}{\sqrt{2g}} \frac{\alpha}{h} 2\sqrt{h} = \frac{2\alpha}{\sqrt{2gh}} \end{aligned}$$

Mais  $\alpha = 2\pi\ell A$  et  $h = l(1 - \cos A)$

donc

$$t = \frac{4\pi\ell A}{\sqrt{2g\ell(1 - \cos A)}} = \pi \sqrt{\frac{\ell}{g} \frac{2\sqrt{2}A}{\sqrt{1 - \cos A}}}$$

1° pour une chute  $\alpha = 90^\circ$

$$\frac{2\sqrt{2}A}{\sqrt{1 - \cos A}} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{1 - 0}} \cdot \frac{1}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1,414}{2}$$

2° Pour une chute  $\alpha = 36^\circ$

$$\frac{2\sqrt{2}A}{\sqrt{1 - \cos A}} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{1 - 0,8090}} \cdot \frac{36}{360} = \frac{1,294}{2}$$

3° Pour une chute  $\alpha = 1^\circ$

$$\frac{2\sqrt{2}A}{\sqrt{1 - \cos A}} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{1 - 0,9998}} \cdot \frac{1}{360} = \frac{1,111}{2}$$

Pour ( $2t$ ) ou une oscillation composée d'une chute et d'une ascension

$$1^\circ 2t = \pi \cdot 1,414 \sqrt{\frac{l}{g}} = 4,44 \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$2^\circ 2t = \pi \cdot 1,294 \sqrt{\frac{l}{g}} = 4,01 \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$3^\circ 2t = \pi \cdot 1,111 \sqrt{\frac{l}{g}} = 3,49 \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Il faut donc que l'amplitude descende encore bien au dessous de  $1^\circ$  de part et d'autre du diamètre vertical pour obtenir la formule de Galilée qui fixe la valeur de ( $g$ ).

Tout porte à croire que cette valeur découle plutôt de l'observation d'une oscillation d'amplitude sensible et que 9,8088 est trop faible.

Je vous adresse l'étude de mon pauvre et intéressant camarade Goudin ex Commis des Ponts et Chaussées.<sup>3</sup> Si vous aviez un emploi de correcteur d'épreuves de mathématiques ou de calculateur à lui donner, je pense que votre confiance serait bien placée.

Recevez Monsieur Poincaré le nouveau témoignage de ma profonde reconnaissance,  
Delsaux

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>La première lettre de Delsaux et la réponse de Poincaré n'ont pas été retrouvées.

<sup>2</sup>Édouard Lagout (1820–1884), ancien élève de l'école des ponts et chaussées, et auteur d'ouvrages de calcul graphique, dont *Takitechnie* (1881).

<sup>3</sup>L'étude en question n'a pas été retrouvée.

# Chapitre 21

## Pierre Duhem

Pierre Duhem (1861–1916) étudie au collège Stanislas (Paris), puis à l'École normale supérieure, où il entre au premier rang en 1882. Il tente sans succès de soutenir une thèse sur le potentiel thermodynamique en 1884, avant d'obtenir l'agrégation en sciences physiques en 1885. Il est nommé maître de conférences à la faculté des sciences de Lille en 1887, et l'année suivant, il soutient avec succès une deuxième thèse sur l'aimantation par influence, cette fois devant un jury qui compte Poincaré.<sup>1</sup>

Sa situation à Lille devient inconfortable, et Duhem prend un poste à la faculté des sciences de Rennes en 1893, où il reste un an. En 1894, il est nommé à une nouvelle chaire de physique théorique créée à la faculté des sciences de Bordeaux. Il vit à Bordeaux le reste de sa vie.<sup>2</sup>

La première des deux lettres transcrites ici concerne la deuxième thèse de Duhem. La deuxième lettre concerne la théorie de la dispersion de Helmholtz et la théorie de l'interférence, sujets traités par Poincaré dans ses leçons sur la théorie mathématique de la lumière (1889–1892), prononcées à la Sorbonne en 1887–1888.

### Notes

<sup>1</sup>Poincaré (1901a, 37) recommande la lecture de cette thèse, publiée dans les *Annales de Toulouse* (1888).

<sup>2</sup>Sur la carrière de Duhem, voir le *DSB*, M.-J. Nye (1986, 208), et Brouzeng (1987).

## 21.1 Duhem à Poincaré

LILLE, LE 19 Février 1888  
FACULTÉ DES SCIENCES DE LILLE  
LABORATOIRE DE PHYSIQUE

Monsieur,

Les Mémoires d'Helmholtz étaient empruntés à la Bibliothèque de l'École Normale, en sorte que j'ai dû attendre mon retour à Lille pour prendre le renseignement que vous

m'aviez demandé. Le Mémoire d'Helmholtz a pour titre *Zur Theorie der anomalen Dispersion*. Il a paru aux *Poggendorff's Annalen* Bd. 154 p. 582 1875 et aux *Monatsberichte* de Berlin Octobre 1874.<sup>1</sup> Il se trouve aussi dans les *Mémoires d'Helmholtz* T. II p. 213.<sup>2</sup> L'équation du mouvement de l'éther et l'équation du mouvement d'une particule matérielle prises comme point de départ sont bien celles que vous m'avez exposées. Quant au développement de la théorie, vous seul pourriez juger de sa plus ou moins grande conformité avec ce que vous avez fait.<sup>3</sup>

Croyez moi, Monsieur, votre très respectueux et dévoué

P. Duhem

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Helmholtz (1874, 1875).

<sup>2</sup>Helmholtz (1882–1895, 2, 213–226). Poincaré enseigne la théorie de la dispersion de Helmholtz dans son cours de 1891–1892 (1889–1892, II, chap. 10). Il n'a pas eu le temps de l'aborder dans son cours de 1887–1888 (ibid., p. V).

<sup>3</sup>Il s'agit vraisemblablement de la théorie de l'interférence de la lumière, qu'enseigne Poincaré dans son cours de 1887–1888 (1889–1892, I, chap. 2).

## 21.2 Poincaré à Duhem

10/12 [1887] Paris<sup>a</sup>

Monsieur,

Je n'ai encore rien vu de votre thèse.

Elle doit être entre les mains de M. Darboux.<sup>1</sup> Veuillez agréer, Monsieur, l'assurance de ma considération la plus distinguée,

Poincaré

**ACS. Archives de l'Académie des sciences.**

<sup>1</sup>Duhem soutient une thèse sur l'aimantation par influence le 30.10.1888 devant un jury composé de Gaston Darboux, Edmond Bouty et Poincaré ; voir Duhem (1888). Il s'agit du deuxième mémoire soumis par Duhem en vue du diplôme de docteur ès sciences mathématiques. Le premier, qui portait sur le potentiel thermodynamique, fut refusé par une commission composée de Charles Hermite, Gabriel Lippmann, et Émile Picard le 12.06.1885 (Brouzeng 1987, 31). Poincaré admire la "grande clarté" de certains exposés de Duhem dans son travail sur l'aimantation (Poincaré, 1901a, 37).

<sup>a</sup>Le cachet de la poste indique : "rue Claude Bernard, 10.12.87".

# Chapitre 22

## Hermann Ebert

Après avoir suivi les cours de Gustav Wiedemann à Leipzig, Hermann Ebert (1861–1913) devient en 1892 l'assistant d'Eilhard Wiedemann (fils de Gustav) à Erlangen. Il est nommé professeur à Leipzig en 1894, et poursuit sa carrière à Kiel et à Munich. Ebert est un pionnier dans plusieurs domaines : les phénomènes électriques dans l'atmosphère, le champ électrique terrestre, et la radioactivité terrestre. Il est membre des académies scientifiques de Munich et de Göttingen, ainsi que de la Leopoldina (Gerlach, 1971).

### 22.1 Ebert à Poincaré

Gries bei Bozen, 29.III.92<sup>1</sup>  
Erlangen, Bayern Universität

Hochverehrter Herr Professor!

Verzeihen Sie, wenn ich es unternehme mich persönlich an Sie zu wenden und zwar mich dabei meiner Muttersprache bedienend; ich lese zwar das Französische vollkommen, wage es aber doch nicht recht mich dieser schönen Sprache im vorliegenden Falle zu bedienen. Ich möchte ihnen zunächst einmal meinen Dank aussprechen für die Belehrung, Förderung und Anregung, die ich Ihnen schönen Büchern verdanke. Ich habe mit grösstem Interesse gelesen Ihre „*Théorie mathématique de la Lumière*“, Ihre „*Électricité et Optique I et II*“, und bin jetzt gerade an dem Studium ihrer „*Thermodynamique*“. <sup>2</sup> Von derselben habe ich zunächst das *letzte* Capitel vorgenommen, da ich mich augenblicklich eingehender mit Helmholtz Theorie der cyklischen Bewegungen beschäftige. <sup>3</sup> Sie haben mit grosser Eleganz das Wichtigste dieser Theorie in dem genannten Capitel gebracht, was ich mit grosserer Freude und wachsendem Interesse gelesen habe. An einer Stelle bin ich mir nicht recht klar, ob ich Sie wohl richtig verstehe, oder ob sich vielleicht doch ein kleines Versehen eingeschlichen hat. Ich nehme mir die Freiheit mich mit einer diesbezüglichen Frage an Sie zu wenden:

Pag. 400, oben von Zeile 2 an wird gesagt, dass

$$\frac{\partial H}{\partial q_a} \left( = -\frac{\partial L}{\partial q_a} \right)$$

von der Form  $Aq_a'q_a''$  sei u.s.f. Das ist wohl nicht ganz richtig, weil ja sonst  $H$  selbst und damit  $L$  vom 3. Grade in den  $q$  sein müsste. Die  $\partial H/\partial q_a = -s_a$  sind homogene lineare Funktionen in den  $q$  u. wenn die  $dq_a/dt$  sowie die  $dq_b/dt$  klein sind, ist  $\frac{d}{dt}\partial H/\partial q_a$  gleich 0. Leicht zu berichtigende Druckfehler sind pag. 402 Zeile 8 und 4 von unten  $q_b$  statt  $p_b$ ; pag. 403 Zeile 9 von unten  $dH'/dq_b$  statt  $dH'/dp_b$ ; pag. 405, Zeile 7, 9, 11, 14 von oben  $P$  statt  $p$ ; pag. 412, Zeile 7–8 von oben fehlt der Faktor  $1/2$ , ebenso pag. 413 Zeile 13 bei dem Glieder  $tp^2$ ; ich erlaube mir nur Ihre Aufmerksamkeit auf dieselben zu lenken um Ihnen zu zeigen, wie sorgfältig ich Ihre schönen Darstellungen durchstudiere, und weil vielleicht diese Kleinigkeiten bei einer Neuauflage Berichtigungen erfahren könnten; denn es ist schade wenn eine elegante und glatte Entwicklung durch solche Steine des Anstosses unterbrochen wird.

Mehr Schwierigkeiten hat mir eine Stelle pag. 413 oben gemacht, wo

$$B \int q dq = B\delta \frac{n^2 h^2}{2}$$

gesetzt wird. Da integriert wird zwischen zwei Zeitpunkten, für welche beide  $q = nh$  wird, so hat das bestimmte Integral von  $\frac{1}{2}q^2$  den Wert 0, das zweite Glied auf der rechten Seite der Gleichungen pag. 414 ist also doch wohl immer gleich 0 u. steht nur zum Scheine hier; in der That ist es ja auch ganz überflüssig und  $\partial Q/L = d [\log \text{nat} B^3/A]$ . Pag. 417 Zeile 8–9 von oben muss die zweite Gleichung wohl lauten:

$$q_b d \frac{\partial H'}{\partial q_b} = -dQ_b.$$

Sehr grosse Scrupel hat mir Ihr Nachweis in § 328–330 pag. 418 flgde gemacht, dass die Helmholtzsche Theorie nicht im Stande sein soll die irreversibelen Prozesse zu erklären; wenn Sie mich darüber aufklären wollten, worin ich *hierbei* im Unklaren bin, würde ich Ihnen zum allergrössten Danke verpflichtet sein, denn der Eindruck, den Ihr Einwurf beim ersten Ueberlesen auf mich machte, war ein geradezu niederschmetternder. Bei näherer Betrachtung indessen will es mir scheinen, als ob Ihr Einwurf gar nicht die Helmholtzsche Theorie als solche trifft. Verstehe ich die genannten §§ recht, so ist der Gedankengang folgender: Angenommen der Clausius'sche Satz von der Vermehrung der Entropie eines sich selbst überlassenen Systems sei richtig (pag. 419, Zeile 4 flgnde), was folgt daraus? Sie zeigen in höchst eleganter Weise, dass man zu Widersprüchen mit den Grundgleichungen der Mechanik gelangt.<sup>4</sup> Bei diesem Nachweise treten aber nirgends Ausdrücke ein, welche der Helmholtz'schen Theorie speciell eigentümlich wären; Sie benutzen nur Gleichungen die der allgemeinen Mechanik angehören und solche die unmittelbar ohne jede weitere Annahme aus diesen folgen. Mir scheint es, dass nur bewiesen ist, dass der bezeichnete Satz sich nicht mit den Principien der allgemeinen Mechanik verträgt; die Helmholtz'sche Theorie beginnt doch erst dort, wo über das Wesen der

Parameter bestimmte Vorstellungen eingeführt werden. Die genannte Ableitung scheint mir also nicht zu den Bemerkungen pag. 392, § 309 Ende u. § 330 vorletzter Abschnitt gegen die Helmholtz'sche Theorie zu berechtigen. Ich glaubte nur schliessen zu dürfen entweder der Clausius'sche Satz ist nicht richtig oder in der genannten Ableitung ist nicht alles in Ordnung. In dieser Beziehung hat sich mir nun folgendes Bedenken aufgedrängt: In dem jeder äusseren Einwirkung dauernd entzogenen System ist  $dU$  gleich 0, denn  $dU = -\sum P_a dp_a + \sum dQ_b$  (pag. 405); sind die hier eingeführten unabhängigen Variablen  $p$  u.  $q$  wirklich von einander unabhängig, so heisst das  $\partial U/\partial s$  und  $\partial U/\partial p = 0$ . Der Ausdruck, auf den Sie Ihr Kriterium stützen,

$$\sum \left( \frac{\partial S}{\partial p} \frac{\partial U}{\partial s} - \frac{\partial S}{\partial s} \frac{\partial U}{\partial p} \right),$$

aus dessen Nullwerden für andere Werte der unabhängigen Variablen als  $p = 0, s = 0$  auf das Vorhanden sein von negativen Gliedern in der quadratischen Form  $\sum ( \quad )$  geschlossen wird, ist also *eo ipso* dauernd gleich 0 u. ein Schluss von der Art wie Sie ihn hier ziehen, will mir nicht ganz sicher erscheinen.

Ich irre mich vielleicht, und habe Sie wahrscheinlich nicht recht verstanden, aber es wäre mir im höchsten Grade erwünscht, wenn Sie die Liebenswürdigkeit haben wollten, mich über diesen so sehr wichtigen Punkt aufzuklären.

Ich hoffe in dieser Beziehung keine Fehlbitte zu tun, da ich mich schon lange zu Ihren entfernteren Schülern zähle.<sup>5</sup>

Seien Sie meiner vorzüglichsten Hochachtung versichert und genehmigen Sie den aufrichtigsten Dank von

Ihrem ergebensten

H. Ebert

#### ALS 11p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Italie (Sud-Tyrol).

<sup>2</sup>Poincaré (1889–1892, 1890–1891, 1892i).

<sup>3</sup>Il s'agit du dernier chapitre de la *Thermodynamique*, intitulé "Réduction des principes de la thermodynamique aux principes généraux de la mécanique", dans lequel Poincaré analyse un mémoire de Helmholtz (1886) sur la signification physique du principe de moindre action.

<sup>4</sup>Rudolf Clausius (1822–1888).

<sup>5</sup>Poincaré ne prendra pas en compte les remarques d'Ebert dans la 2<sup>e</sup> édition de sa *Thermodynamique* (1908h). Mais Ebert publiera son propre cours par la suite (1912).



## Chapitre 23

# Paul Ehrenfest

Viennois d'origine, Paul Ehrenfest (1880–1933) commence ses études universitaires à la Technische Hochschule et à l'université de Vienne en 1899, où il suit les leçons de Ludwig Boltzmann sur la théorie mécanique de la chaleur. Entre 1901 et 1903 il poursuit ses études à la Georg-August-Universität de Göttingen, où il suit les cours de Félix Klein, David Hilbert, Woldemar Voigt, Max Abraham, Johannes Stark, Walther Nernst, Karl Schwarzschild, et Ernst Zermelo. Ehrenfest fait des amis à Göttingen, y compris Walter Ritz, et Tatyana Alexeyevna, qui deviendra sa femme. En 1903 il revient à Vienne, et rédige une thèse sur la mécanique de H. Hertz (§ 30), qu'il soutient en 1904.<sup>1</sup>

Paul et Tatyana Ehrenfest restent à Vienne encore deux ans, avant de revenir à Göttingen. Paul publie sur la théorie du rayonnement des corps noirs de Max Planck, et s'intéresse de près à la mécanique statistique de J. Willard Gibbs, dans laquelle Tatyana et lui révèlent une erreur fondamentale (Klein, 1970, 52). Félix Klein engage Boltzmann d'abord pour la rédaction d'un article sur les fondements de la mécanique statistique dans l'*Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, mais quand Boltzmann prend sa propre vie, Klein invite Ehrenfest à faire l'article à la place de son ancien directeur de thèse. Ehrenfest accepte la commission, à condition que l'article soit co-signé par Tatyana.<sup>2</sup>

En 1907, Ehrenfest et sa famille quitte Göttingen pour Saint-Petersbourg, où ils restent pendant cinq ans. Ehrenfest n'a pas d'emploi stable (à l'exception d'une charge de cours de physique mathématique en 1910), mais il publie plusieurs articles, dont une étude du principe Le Chatelier-Braun, deux sur le principe de relativité, et l'article de l'*Encyklopädie*. En 1912, Ehrenfest succède à H.A. Lorentz dans la chaire de physique théorique à l'université de Leyde, où il restera jusqu'à son suicide tragique en 1933.

La correspondance entre Ehrenfest et Poincaré concerne un article de celui-ci (1911) sur le rôle de l'hypothèse des quanta lumineux d'Einstein dans la théorie du rayonnement thermique. Indépendamment, et peu après sa participation aux discussions du premier Conseil Solvay (§ 53) à Bruxelles en octobre 1911, Poincaré (1911e) en vient à la même conclusion : l'hypothèse d'Einstein est une condition nécessaire (et suffisante) de la loi de Planck.<sup>3</sup>

## Notes

<sup>1</sup>Pour une appréciation de la thèse inédite d'Ehrenfest, voir M.J. Klein (1970, chap. 4).

<sup>2</sup>Klein (1970, 82–83) ; Ehrenfest et Ehrenfest (1912).

<sup>3</sup>Sur la vie et les travaux d'Ehrenfest, voir le *DSB*, et surtout la biographie par M.J. Klein (1970).

## 23.1 Poincaré à Ehrenfest

[30.01.1912]<sup>1</sup>

Mon cher Collègue,

Je suis heureux de voir que vous êtes arrivé à des résultats conformes aux miens par une voie différente.<sup>2</sup> Je vous remercie de votre brochure qui me sera certainement utile pour la rédaction de mon prochain article.<sup>3</sup>

Le *Journal de Physique* (Janvier 1912) ne m'a pas encore envoyé de tirages à part et je commence à me demander s'il m'en enverra.<sup>4</sup>

Votre bien dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 2p. Museum Boerhaave. Reproduite dans EHR-24, § 8, Archives for History of Quantum Physics.**

<sup>1</sup>Le manuscrit porte une annotation de main inconnue : “[30.01.1912 Paris]”.

<sup>2</sup>Indépendamment d'Ehrenfest (1911), Poincaré montre l'inexistence d'une loi du rayonnement continu qui soit compatible avec la loi de Planck, où la distribution d'énergie est discontinue (1912c). A propos de la contribution de Poincaré et sa réception, voir McCormach (1967), Kuhn (1978, 210), Krips (1986), et Prentis (1995).

<sup>3</sup>Ehrenfest (1911), à propos duquel voir Navarro et Pérez (2004). L'article du *Journal de physique et le radium* (1912c) est le dernier écrit par Poincaré sur l'hypothèse des quanta, à l'exception d'une présentation synthétique (1912a).

<sup>4</sup>Poincaré (1912c). Quand David Hilbert lui sollicite un tiré à part de cet article en mai 1912, Poincaré répond qu'il n'a pas reçu de tiré à part ; voir vol. 4 de la correspondance.

## Chapitre 24

# Charles-Marie Gariel

Charles-Marie Gariel (1841–1924) fait ses études à l'École polytechnique (promotion de 1861) et à l'École des ponts et chaussées. Il obtient une licence ès sciences physiques, et devient répétiteur auxiliaire du cours de physique de l'École polytechnique en 1867. Deux ans plus tard, après des études à la faculté de médecine de Paris, Gariel soutient deux thèses sur l'ophtalmoscope et sur la physique de l'audition, et devient docteur en médecine. En 1873, il devient secrétaire de l'Association française pour l'avancement des sciences ; il est membre de la société mathématique de France en 1876, et entre à l'Académie de médecine en 1882 (*Revue de musicologie* 5, 1924, 80). En 1879 il est chargé du cours de chimie à l'École des ponts et chaussées, et en 1887, professeur de physique médicale, puis doyen de la faculté de médecine (Monod-Broca, 1990, 138). Gariel prend comme épouse en 1867 Marguerite Grandidier, une nièce de Léon Foucault, dont il publie un recueil des travaux scientifiques (1878). Il devient directeur des études de l'École supérieure de physique et de chimie industrielle en 1898 (Solais, 2002).

En 1902, Gariel est élu vice-président de la société française de physique, alors que Poincaré est installé comme président (*Bulletin de la société française de physique* 1902, 7\*, séance du 07.02.02). Le 18 avril 1902, Poincaré lui demande par courrier de présider la séance de la société, et c'est cette lettre qui est transcrite ici. A la fin de son mandat, Poincaré prononce un discours que nous transcrivons également (§ 62.8), et transmet la présidence à Gariel.

### 24.1 Poincaré à Gariel

[18.04.1902]<sup>1</sup>

Mon cher Collègue,

Je ne puis malheureusement assister à la séance de ce soir et je suis obligé de vous prier de vouloir bien présider à ma place. Je le regrette d'autant plus que j'aurais voulu prendre la parole pour rendre hommage à la mémoire du collègue éminent, du savant illustre que

nous venons de perdre et qui pour chacun de nous était un ami en même temps qu'un maître.<sup>2</sup>

M. Cornu était assidu à nos séances ; il nous a exposé ici même la plupart de ses découvertes et nous ne savions ce que nous devions admirer le plus de l'ingéniosité de son esprit inventif, de la sagacité de sa critique, ou de l'élégante clarté de son exposition.

Il a laissé sa trace dans toutes les parties de la Physique, mais c'est surtout pour l'Optique qu'il avait de la prédilection. Je crois que ce qui l'attirait dans l'étude de la lumière, c'est la perfection relative de cette branche de la Science qui, depuis Fresnel, semble participer à la fois de l'impeccable correction et de la sévère élégance de la Géométrie elle-même. Là il pouvait mieux que partout ailleurs satisfaire pleinement les aspirations naturelles de son esprit épris d'ordre et de clarté.

C'est ainsi que son travail sur la diffraction, et celui où il étudie la réflexion cristalline sont de petits chefs-d'œuvre d'élégance géométrique.

Il en est de même de tout ce qu'il a fait sur les instruments d'optique, sur la lunette zénithonadmirale par exemple, et de ses recherches sur les propriétés focales des réseaux.

La méthode de Fizeau pour la mesure de la vitesse de la lumière l'a préoccupé toute sa vie ; elle lui a fourni un de ses premiers Mémoires et, au moment de sa mort, il dirigeait encore les expériences qui se poursuivent à Nice sur ce sujet.

Je ne puis songer à énumérer ici tous les travaux de Cornu. Ils sont dans toutes les mémoires et, si je mentionne ses expériences célèbres sur la méthode de Cavendish, et ses recherches sur la gamme, c'est justement parce qu'elles sont tout à fait différentes de celles qui l'occupaient ordinairement et qu'elles font aussi mieux ressortir toute la variété de son talent.

Que ne pouvions-nous pas encore en attendre ? Il est frappé en pleine activité ! Que de travaux interrompus il laisse derrière lui ! Pourquoi sont-ils les meilleurs ceux que la mort frappe ainsi sans attendre ?

Je vous serais obligé, mon cher Collègue, si vous vouliez bien dire à la Société combien je regrette de ne pouvoir être là ce soir, pour exprimer de vive voix la douleur qui me frappe comme elle nous frappe tous.

Veuillez agréer, mon cher Collègue . . .

Poincaré

#### **PrTL. Poincaré (1902f).**

<sup>1</sup>Cette lettre, transcrite à partir de Poincaré (1902f), a été lue par C.-M. Gariel devant la société française de physique lors de la séance du 18 avril 1902.

<sup>2</sup>Alfred Cornu (§ 16) est mort le 12.04.1902.

## Chapitre 25

# Josiah Willard Gibbs

Josiah Willard Gibbs (1839–1903) commence ses études à l’université de Yale en 1854, où il soutient une thèse en ingénierie mécanique en 1863. Il devient alors tuteur en latin et philosophie naturelle à Yale, jusqu’en 1866. Comme tous les jeunes scientifiques américains de son temps, Gibbs continue ses études en Europe. Avec ses deux sœurs il part d’abord à Paris (1866–1867), ensuite à Berlin (1867–1868), et enfin, à Heidelberg (1868–1869). En 1871 il accepte une chaire sans solde en physique mathématique à Yale, où il produit une série de travaux fondamentaux en thermodynamique et en mécanique statistique, qui font l’admiration des théoriciens européens. Il contribue également à la théorie de la propagation de la lumière, et il développe une méthode d’analyse vectorielle qui sera le système de préférence des physiciens et ingénieurs à partir des années 1910.<sup>1</sup>

Les travaux de Gibbs sont appréciés en France comme ailleurs sur le Continent. En 1900, Gibbs est élu correspondant de l’Académie des sciences, section de mécanique (1968, 231). Poincaré, quant à lui, cite volontiers son ouvrage sur les principes élémentaires de mécanique statistique (1902), bien qu’il le trouve “difficile à lire” (1904c, 308).

Gibbs a l’habitude d’envoyer ses articles de recherche à ses collègues théoriciens, dont Poincaré, mais nous n’avons retrouvé aucun de ces envois, et uniquement une lettre de Poincaré à Gibbs. Celle-ci concerne la commémoration de l’anniversaire bicentenaire de Yale, pendant laquelle des doctorats *honoris causa* devaient être décernés. Parmi les récipients pressentis sont J.W. Strutt et Henri Poincaré, qui ont décliné l’invitation, et Jacques Hadamard et William Thomson, qui l’ont accepté.

### Notes

<sup>1</sup> Sur la vie et les travaux de Gibbs, voir le *DSB*, Le Chatelier (1903), et les écrits de ses anciens élèves H.A. Bumstead (Gibbs, 1928, xiii–xxviii), et L.P. Wheeler (1951). Pour un commentaire lucide du style scientifique de Gibbs, et une introduction à la littérature secondaire, voir M.J. Klein (1983).

## 25.1 Poincaré à J.W. Gibbs

[29.04.1901]<sup>a</sup>

Mon cher Collègue,  
J'éprouve de grandes difficultés pour organiser mon voyage en Amérique, et je crains d'être obligé d'y renoncer. Dans ce cas croyez que je le regretterai beaucoup et que mes vœux iront de loin à l'Université de Yale.  
Votre bien dévoué Collègue,  
Poincaré

**ALS 1p. Ms Vault Gibbs 18, Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University.**

---

<sup>a</sup>Le manuscrit porte l'annotation de main inconnue : "Poincaré, Paris 29 Apr. 1901".

## Chapitre 26

# Oliver Wolcott Gibbs

Oliver Wolcott Gibbs (1822–1908) est *Rumford Professor* à l'université Harvard de 1863 à son éméritat en 1887. Il publie des recherches en chimie analytique et inorganique jusqu'en 1893.

La lettre de O.W. Gibbs à Poincaré remercie ce dernier de l'envoi d'un mémoire non-identifié. Il s'agit vraisemblablement de son article sur le problème des trois corps (1890c). On peut supposer que Poincaré voulait envoyer son mémoire à un autre américain, pour qui le problème des trois corps aurait eu plus d'intérêt : J. Willard Gibbs (§ 25), professeur de physique mathématique à l'université Yale.

### 26.1 O.W. Gibbs à Poincaré

Newport R.I. Nov. 5<sup>th</sup> 1891

Dear Sir,

Please accept my grateful acknowledgments for the copy of your beautiful memoir which you had the kindness to send me and which was duly received.

With most sincere respect I am yours

Wolcott Gibbs

**ALS 1p. Private collection, Paris.**

# Chapitre 27

## G. Gilles

G. Gilles est élève-ingénieur à l'École professionnelle supérieure des postes et télégraphes, où Poincaré est professeur d'électricité théorique depuis 1902. L'administration de cette école lui demande de traiter des sujets qui varient selon l'année : la propagation du courant (1904a), la téléphonie (1907b), la télégraphie sans fil (1908f; 1911d), et en 1912, pendant les dernières semaines de sa vie, la dynamique de l'électron (1913). Gilles est chargé de rédiger les notes des conférences faites sur la télégraphie sans fil en juin 1911.

### 27.1 Gilles à Poincaré

Paris le 4 juillet 1910<sup>a</sup>

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS DES POSTES & DES TÉLÉGRAPHES

ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE DES POSTES & DES TÉLÉGRAPHES

Élève-Ingénieur des Télégraphes – 16, rue Ernest Renan – Paris, 15<sup>e</sup>

Monsieur le Professeur,

J'ai terminé la rédaction des Conférences sur la Télégraphie sans fil que vous avez faites la quinzaine dernière à l'École Supérieure des Postes et Télégraphes.<sup>1</sup>

Je suis à votre disposition pour vous soumettre la rédaction de ces Conférences au jour et à l'heure qui vous conviendront le mieux.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Professeur, l'expression de mes sentiments respectueux et dévoués,

G. Gilles

**ALS 1p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1911d), articles publiés les 7, 14, 21, et 28 janvier 1911.

---

<sup>a</sup>La lettre comporte deux pages de calculs d'optique de la main de Poincaré, sans lien directe à la lettre.



## Chapitre 28

# Charles-Édouard Guillaume

Charles-Édouard Guillaume (1861–1938) fait ses études à l'École polytechnique fédérale de Zurich en 1878, et après avoir servi comme officier d'artillerie, il est engagé par le bureau international des poids et mesures (BIPM) à Sèvres en 1883. Il y fait toute sa carrière ; il devient directeur adjoint en 1889, et directeur en 1915. En 1911, il est élu membre correspondant à l'Académie des sciences, section de physique générale, et l'année suivante, il est vice-président de la société française de physique (*Procès-verbaux de la société française de physique*, 1912, 9).

Au BIPM, Guillaume participe à l'élaboration des mètres standards, qui sont distribués aux pays membres en 1889. Il entreprend alors l'étude des alliages de fer et de nickel, et trouve qu'un d'eux, qu'il appelle l'invar, a un coefficient de dilatation dix fois inférieur à celui du fer. L'invar trouve rapidement des applications dans plusieurs domaines scientifiques, y compris la géodésie, où on mesure des distances avec du fil d'invar dès 1899. Cette découverte est suivie par celle d'un autre alliage en 1912, l'élinvar, dont l'élasticité ne varie pas avec des changements de température. Les découvertes de Guillaume sont récompensées par le prix Nobel de physique en 1920 (*DSB* ; Goetz, 2001).

### 28.1 Poincaré à Guillaume

[Ca. 1896–1904]

Cher Monsieur,

Comme je sais que vous êtes très au courant de ce qui s'est fait dans ces derniers temps sur les radiations, vous me permettrez de vous demander un petit renseignement.<sup>1</sup>

Quelle est *dans le spectre de l'étincelle électrique* la fraction de l'énergie totale qui est sous forme de lumière visible ?

Merci d'avance,

Votre bien dévoué,

Poincaré

**ALS 2p. Collection particulière, Fleurier, Suisse.**

<sup>1</sup>Guillaume publia un petit livre sur les rayons X (1896a), ainsi qu'une note sur l'intensité de l'émission des rayons X en fonction de l'angle d'émission (1896b), et une étude du rayonnement infrarouge (1898).

## 28.2 Poincaré à Guillaume

[Ca. 1910]

Cher Monsieur,

Je m'aperçois que j'ai oublié de vous répondre au sujet de la conférence de Mulhouse ; j'accepte en principe.<sup>1</sup>

Votre bien dévoué,

Poincaré

**ALS 1p. Collection particulière, Fleurier, Suisse.**

<sup>1</sup>Il s'agit d'une conférence sur les comètes organisés au nom de la société industrielle de Mulhouse (1910b) ; (1916–1956, VIII, 665–675).

## Chapitre 29

# Camille Gutton

Camille Gutton (1872–1963) entre à l'École normale supérieure en 1893, et devient agrégé de physique en 1896. Il soutient sa thèse, intitulée “Recherches expérimentales sur le passage des ondes électriques d'un conducteur à un autre” à la faculté des sciences de Paris en 1899 ; c'est Poincaré qui rédige le rapport de thèse (§ 62.5). A cette époque, Gutton mesure la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans différents milieux, un sujet qui devait différencier la théorie de Maxwell de celle de Helmholtz. Il suit René Blondlot (§ 9) dans l'aventure des rayons N, au sujet desquels il publie jusqu'en 1906, année de sa nomination à une chaire de physique à Nancy, devançant un opposant des rayons N, Albert Turpain. Gutton devient ensuite professeur à l'École supérieure des postes et télégraphes, et à l'École d'aéronautique, avant d'assurer la direction du laboratoire national de radioélectricité. Il devient membre de l'Académie des sciences en 1938, en tant qu'académicien libre.

Ses travaux de radiotechnique l'amènent à concevoir des appareils qui servent aux services de transmission des armées françaises et alliées pendant la première guerre mondiale. Il met au point les premières liaisons radio entre la terre et un avion, et il développe un électromètre de haute sensibilité.<sup>1</sup>

Sa correspondance avec Poincaré porte sur une controverse soulevée par Turpain autour des dispositifs expérimentaux permettant de vérifier la relation de Maxwell ( $\varepsilon = n^2$ ). Mais en arrière-plan se dessine l'opposition entre la théorie de Maxwell et celle de Helmholtz ; l'existence d'ondes électromagnétiques longitudinales, suggérée par l'absence apparente de réfraction des rayons X constatée par W.C. Röntgen (§ 50), est l'idée qui guide Turpain. Les expériences que Gutton présente semblent confirmer le point de vue maxwellien.

### Notes

<sup>1</sup> Sur la carrière de Gutton, et une analyse perspicace de l'histoire des rayons N, voir M.-J. Nye (1986).

## 29.1 Gutton à Poincaré

29 9<sup>bre</sup> 99

Cher Monsieur,

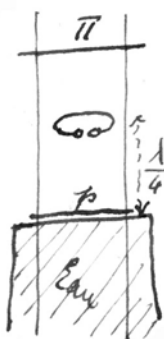
Lorsque j'ai reçu la lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire, j'avais, en effet, remarqué les expériences de M. Turpain et j'avais été très étonné des résultats inattendus de ses dernières expériences.<sup>1</sup>

Je dois vous avouer que la lecture du mémoire de M. Turpain et des résultats de ses expériences ne m'ont pas complètement persuadé de l'exactitude de ses conclusions. Je vais essayer de répéter les expériences de M. Turpain et tenter de revoir les phénomènes qu'il décrit.

M. Blondlot, à qui j'ai montré votre lettre a bien voulu relire avec moi le mémoire de M. Turpain et son article de l'*Éclairage électrique* de 7 octobre.<sup>2</sup> L'opinion de M. Blondlot est que le grand nombre de confusions ou d'inexactitudes qu'on relève dans ce mémoire ne permet pas d'être absolument convaincu des conclusions.

Il semble qu'on ne peut, comme M. Turpain le fait, comparer à un résonateur les petites bouteilles de Leyde que M. Cohn reliait à son bolomètre.<sup>3</sup> Je ne comprends pas très bien les contradictions qu'il trouve entre les expériences de Cohn et celles de M. Blondlot. Est-ce parce que M. Turpain veut absolument supposer que la période d'un résonateur est indépendante du milieu qui le baigne et qu'il se préoccupe uniquement du milieu où se trouvent les fils de transmission ? Cette hypothèse n'est aucunement vérifiée par les expériences de M. Turpain mais semble bien au contraire inadmissible, d'après toutes les expériences et toutes les théories antérieures.<sup>4</sup>

Les expériences faites dans l'huile ne peuvent, d'après l'aveu même de l'auteur, permettre de conclure à l'existence d'ondes longitudinales et d'ondes transversales se propageant avec des vitesses différentes.



Les expériences faites dans l'eau sont plus difficiles à interpréter. M. Turpain n'a pas pris les précautions que Cohn déclare indispensables. Il n'a pas laissé un pont à l'endroit où les fils entrent dans l'eau, ce qui d'après Cohn est nécessaire pour pouvoir observer des interférences dans l'eau.<sup>5</sup>

Il n'a non plus aucunement tenu compte de ce qu'il se produit une réflexion non négligeable à la séparation de l'air et de l'eau ; cette réflexion, d'après les expériences de Waitz doit être très considérable.<sup>6</sup>

D'autre part l'existence d'un pont  $\Pi$  entre l'excitateur et le résonateur ne semble pas nécessaire. Si les phénomènes sont tels que M. Turpain les envisage, ce pont loin de rendre les interférences plus nettes devrait, au contraire, diminuer considérablement l'intensité des phénomènes.

Lorsque le résonateur est dans la position I de M. Sarasin et de la Rive, M. Turpain place le résonateur à  $\lambda/4$  de la cuve à eau ; de sorte que l'étincelle est maximum quand un pont  $p$  est placé contre la cuve. Quand ensuite M. Turpain renverse le résonateur pour le

placer dans le plan des fils, il laisse la cuve à la même place de sorte que le pont étant en  $p$  les étincelles s'éteignent.<sup>7</sup> Il me semble qu'il vaudrait mieux dans les deux expériences changer la position de la cuve, et s'arranger de façon à ce que dans les deux cas les étincelles soient ou maxima, ou minima lorsque le pont est à l'entrée de la cuve. Un fait semble extraordinaire à M. Blondlot c'est que le résonateur étant dans le plan des fils et dans l'air, M. Turpain ait pu trouver la même longueur d'onde lorsque la propagation se fait dans l'eau et lorsqu'elle se fait dans l'air.

Je tâcherai, si c'est possible d'éclaircir ce fait, mais je crains que les expériences étant faites dans l'eau, les phénomènes soient infiniment plus compliqués que ne l'explique M. Turpain.<sup>8</sup> Je chercherai comme vous me l'indiquez à faire des expériences sur différents diélectriques autres que l'eau.<sup>9</sup>

On m'a dit que M. Turpain avait été atteint de folie, et était guéri ; mais je ne puis en rien vous assurer que tout cela est exact.

Mes parents et M. Blondlot me chargent de les rappeler à votre bon souvenir et je vous prie de recevoir, avec mes remerciements pour votre lettre l'expression des sentiments respectueux de votre bien dévoué

C. Gutton

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Albert Turpain (1867–1952), physicien formé par Pierre Duhem. Les expériences de Turpain, qui donnent lieu à une thèse soutenue à la faculté des sciences de Bordeaux (1899a), portent sur le mode de propagation des ondes électromagnétiques. Turpain leur attribue le sens d'expériences cruciales permettant de décider de la validité des théories de J.C. Maxwell et de H. Helmholtz. C'est la nature des ondes (transversales et/ou longitudinales) qui est en cause ; à ce propos voir aussi la correspondance avec Blondlot (§ blondlot) et le rapport de Poincaré sur la thèse de V. Crémieu (§ 62.6).

<sup>2</sup>La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée. Turpain publie plusieurs fois dans les *Comptes rendus* de Paris et les *Procès-verbaux* de Bordeaux sur la propagation des ondes électromagnétique en 1898–1899. Le mémoire en question est peut-être sa thèse (1899a). Turpain (1899c) compare les expériences de Leo Arons et Heinrich Rubens, d'Emil Cohn et Pieter Zeeman, et de Blondlot entre 1891 et 1893 sur la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques. Il affirme que leurs résultats sont une confirmation de la théorie de Helmholtz–Duhem.

<sup>3</sup>Cohn et Zeemann (1896) ; le bolomètre qui mesure l'intensité des courants hautes fréquences s'appuie à l'origine sur la variation de résistance d'un fil de platine recevant un rayonnement lumineux. Ici, le dispositif est intégré dans un pont de Wheatstone et l'échauffement du conducteur est provoqué par le courant de haute fréquence. Les bouteilles de Leyde utilisées par Cohn étaient des systèmes de sécurité avant le bolomètre, mais n'étaient pas nécessaires au montage, ce que les résultats des expériences montrent.

<sup>4</sup>Poincaré (1894a, 288–289) explique à partir des travaux de Blondlot le comportement des ondes dans un fil, et la modification de leur longueur d'onde quand on plonge le résonateur dans le diélectrique ou non, alors que le fil est lui-même plongé dans le diélectrique ou non. La position du résonateur est importante car le milieu conditionne sa capacité ; si le résonateur et le fil sont tous deux dans le même milieu, la longueur d'onde observée sera identique.

<sup>5</sup>Turpain (1898–1899). Le dessin est la reproduction partielle du schéma de Turpain. Le pont  $p$  est cependant dans l'eau où Turpain le déplace pour déterminer les minima et maxima des ondes stationnaires. Dans les expériences de Cohn, ce pont reste bien à l'interface eau-air, mais Cohn utilise un autre pont  $c$  qu'il déplace dans l'eau.

<sup>6</sup>Waitz (1890) développe, dans un premier temps, le problème de la résonance multiple, puis aborde celui de l'influence du milieu sur les ondes dans un fil et étend le résultat, par analogie avec les ondes lumineuses, à la réfraction des ondes électriques. Voir aussi le commentaire de Sarasin (1890).

<sup>7</sup>La distance entre les deux ponts correspond à la demi-longueur d'onde. Le résonateur placé à la position indiquée, c'est à dire au milieu, est sensible dans la première position (dite de Sarasin et de la Rive) au champ

électrique et décèle donc un ventre, alors que dans la deuxième position (de Blondlot), il est sensible au champ magnétique, qui présente un nœud à cet endroit.

<sup>8</sup>Voir Gutton (1901), selon lequel l'égalité des longueurs d'onde n'est pas satisfaite lorsque le milieu est magnétique ou conducteur, ou absorbe notablement les ondes hertziennes.

<sup>9</sup>Voir Gutton (1900b, 894–897), dans lequel il s'agit des expériences avec le bitume.

## 29.2 Gutton à Poincaré

Nancy, 19 X<sup>bre</sup> 99

Cher Monsieur,

J'ai fait quelques expériences dans le sens que vous m'avez indiqué. J'ai mesuré les longueurs d'ondes d'un résonateur circulaire en le plaçant soit dans l'air, soit dans de l'huile de lampe (le micromètre était également dans l'huile ce qui n'empêche pas d'obtenir des étincelles suffisamment visibles). J'ai mesuré ces longueurs d'ondes en déplaçant un pont qui réunit les deux fils au delà du résonateur.

J'ai également mesuré la longueur d'onde lorsque les fils étaient plongés au delà du résonateur dans une cuve contenant de l'huile. Pour ne pas avoir besoin de trop grandes quantités d'huile, j'ai employé un excitateur donnant des ondes de 80<sup>cm</sup> de longueur. C'était un excitateur de M. Blondlot, ayant 10<sup>cm</sup> de diamètre et entièrement plongé dans l'huile de paraffine.<sup>1</sup>

Voici les résultats que j'ai obtenus :

*Résonateur dans la position de MM. Sarasin et de la Rive.*<sup>2</sup>

- |   |                         |   |
|---|-------------------------|---|
| 1 | Résonateur dans l'air   | $\frac{1}{2}$ long. d'onde = 40 <sup>cm</sup> |
|   | Fils dans l'air         |   |
| 2 | Résonateur dans l'huile | $\frac{1}{2}$ long. d'onde = 62 <sup>cm</sup> |
|   | Fils dans l'air         |   |
| 3 | Résonateur dans l'air   | $\frac{1}{2}$ long. d'onde = 26 <sup>cm</sup> |
|   | Fils dans l'huile       |   |
| 4 | Résonateur dans l'huile | $\frac{1}{2}$ long. d'onde = 40 <sup>cm</sup> |
|   | Fils dans l'huile       |   |

Les expériences 1 et 2 donnent comme valeur de l'indice de réfraction de l'huile 1,55

Les expériences 1 et 3 1,53

*Résonateur dans le plan des fils c'est à dire dans la position de M. Blondlot.*<sup>3</sup>

- |   |                         |   |
|---|-------------------------|---|
| 1 | Résonateur dans l'air   | $\frac{1}{2}$ long. d'onde = 41 <sup>cm</sup> |
|   | Fils dans l'air         |   |
| 2 | Résonateur dans l'huile | $\frac{1}{2}$ long. d'onde = 61 <sup>cm</sup> |
|   | Fils dans l'air         |   |
| 3 | Résonateur dans l'air   | $\frac{1}{2}$ long. d'onde = 27 <sup>cm</sup> |
|   | Fils dans l'huile       |   |

1 et 2 donnent 1,50 comme valeur de l'indice

1 et 3 ————— 1,55 —————

Les longueurs d'ondes ne pouvant pas être mesurées à moins de 2<sup>cm</sup> près ; les différences entre les 4 valeurs trouvées pour l'indice sont inférieures aux différences pouvant provenir des erreurs d'expériences.

Je n'ai donc pas trouvé qu'un résonateur pouvait donner deux longueurs d'ondes différentes lorsqu'il était dans l'une ou l'autre position ; ni que sa longueur d'onde est indépendante du milieu où il est plongé comme le suppose M. Turpain.<sup>4</sup> L'existence d'ondes longitudinales est déduite par M. Turpain de ses expériences sur l'eau ; je chercherai à répéter et à varier ces expériences, mais actuellement j'ai voulu profiter des grands froids pour faire des expériences sur la glace.<sup>5</sup>

J'ai cherché à mesurer la vitesse de propagation des ondes émises par un excitateur placé sur la ligne focale d'un miroir parabolique, à travers une lame de glace à faces parallèles. J'ai pu me procurer deux grands morceaux de glace de 12<sup>cm</sup>,5 d'épaisseur parfaitement limpides et sans bulles d'air, je les ai placés l'un contre l'autre entre deux miroirs paraboliques et j'ai mesuré, par le procédé qui m'a servi l'an dernier à comparer les vitesses dans l'air et dans les fils, l'épaisseur d'air traversée dans le même temps que les lames de glace.<sup>6</sup> J'ai employé un excitateur donnant des ondes de 17<sup>cm</sup> de longueur et j'ai trouvé pour la constante diélectrique 3,1, nombre supérieur à celui de M. Blondlot.<sup>7</sup> Je suis occupé actuellement à rechercher, par des expériences faites sur des fils noyés dans la glace, si cette divergence ne serait pas expliquée, au moins en partie, par une dispersion normale, les longueurs d'onde employées par M. Blondlot étant beaucoup plus grandes ; ou si les différences proviennent de ce que la lame de glace n'ayant que 25<sup>cm</sup> d'épaisseur était trop mince.

La glace est parfaitement transparente pour les oscillations, comme M. Drude a trouvé des dispersions notables pour certains liquides organiques ne présentant pas d'absorption sensible, la dispersion pourra peut-être expliquer le nombre que j'ai trouvé.<sup>8</sup>

Dès que j'aurai terminé ces expériences, ou dès que la température sera trop élevée pour que l'on puisse conserver de la glace sèche, je reprendrai les expériences que vous m'avez demandé de faire. Veuillez, je vous prie, m'excuser de les avoir délaissées quelque temps et recevoir l'expression de mes sentiments respectueux.

Votre bien dévoué,

C. Gutton

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>L'excitateur de Blondlot est décrit par Poincaré dans (1894a, 291–292) ; il s'agit d'un condensateur dont les plateaux communiquent par un fil sur lequel est interposé un micromètre à étincelles, qui fonctionne comme un excitateur quand on fait communiquer ses deux armatures avec les pôles d'une bobine à induction.

<sup>2</sup>Cas du résonateur sensible au champ électrique.

<sup>3</sup>Cas du résonateur sensible au champ magnétique.

<sup>4</sup>Turpain (1899b).

<sup>5</sup>Voir (Gutton, 1900a) et les notes de (§ 29.1).

<sup>6</sup>Voir Gutton (1899a).

<sup>7</sup>Blondlot (1894) trouve une valeur de 2.

<sup>8</sup>Paul Drude (1863–1906), professeur de physique à l'université de Leipzig. Il décrit (1897b) les dispositifs de mesure de la constante diélectrique et donne les résultats pour de nombreuses substances.

## 29.3 Gutton à Poincaré

Nancy 17 juin 1900

Cher Monsieur,

J'ai fait les expériences sur la propagation des ondes électriques le long de fils plongés dans l'eau, dont vous m'aviez parlé. Je n'ai pas trouvé les mêmes résultats que M. Turpain.<sup>1</sup> J'ai commencé par répéter ses expériences. Le résonateur restait toujours dans l'air et les fils qui propagent les ondes étaient tantôt dans l'eau, tantôt dans l'air; ils étaient tendus dans une cuve en bois de 4<sup>mètres</sup> de long.

J'ai trouvé que, quelque soit la position du résonateur, la  $\frac{1}{2}$  longueur d'onde était 8,5 fois plus petite quand les fils étaient dans l'eau que lorsqu'ils étaient dans l'air. M. Turpain avait trouvé que si le résonateur est dans le plan des fils, la longueur d'onde est la même que les fils soient dans l'air ou dans l'eau. Je n'ai perçu qu'une explication possible de ce résultat. Si au dessus de la cuve qui contient les fils et hors de l'eau, on place un résonateur, on aperçoit des étincelles à la coupure. Il passe donc des ondes dans l'air à côté de la cuve.

L'étincelle à la coupure change de longueur avec la position du pont qui réunit les fils dans l'eau. Cette étincelle est la plus longue possible quand le pont est près du résonateur et diminue si on éloigne ce pont pour disparaître ensuite complètement. Toutefois, il est impossible d'arriver à observer convenablement des extinctions et des maxima successifs de l'étincelle. J'ai cherché si les extinctions observées par M. Turpain ne pouvaient pas provenir de ces ondes qui passent dans l'air à côté de la cuve. J'ai remis le résonateur à sa place primitive et ai pu arriver à voir un minimum de l'étincelle donnant bien une longueur d'onde voisine de celle que l'on observe lorsqu'il n'y a pas d'eau dans la cuve, mais ce minimum est très peu marqué et ne peut même arriver à l'observer que si on écarte les fils de transmission l'un de l'autre de manière à les amener contre les parois de la cuve. Les minima correspondant à l'eau qui sont 8,5 fois plus rapprochés que dans l'air, sont au contraire bien nets et beaucoup plus visibles.

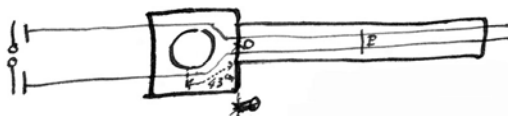


J'ai complété ces expériences en plaçant également le résonateur dans l'eau, il était placé dans une caisse en bois en avant et contre l'angle contenant les fils, la coupure était sous l'eau et les étincelles dans l'eau étaient suffisamment longues et suffisamment brillantes pour que l'on puisse observer le premier maximum et le premier minimum. Ceux-ci se sont trouvés très sensiblement à la même place que si le résonateur et les fils étaient dans l'air.



Voici d'ailleurs les résultats que j'ai trouvé avec un résonateur circulaire de 36<sup>cm</sup> de diamètre.

*Résonateur dans le plan des fils<sup>2</sup>*



Positions du pont P à partir du point O.

Résonateur dans l'air	1 <sup>er</sup> nœud	28 <sup>cm</sup>	28 <sup>cm</sup>	28 <sup>cm</sup>	28 <sup>cm</sup>	27 <sup>cm</sup>
Fils dans l'air	2 <sup>e</sup> nœud	170	175	172	171	176
	3 <sup>e</sup> nœud	"	"	"	315	320

1/2 longueur d'onde 145<sup>cm</sup>

Résonateur dans l'air	1 <sup>er</sup> nœud	8	8,5	8 <sup>cm</sup>
Fils dans l'eau	2 <sup>e</sup> nœud	25	26	25 <sup>cm</sup>
	3 <sup>e</sup> nœud	41	42	41 <sup>cm</sup>

Les 2 1<sup>ers</sup> minima sont bien nets.

1/2 longueur d'onde déduite des 2 1<sup>ers</sup> minima = 17<sup>cm</sup>

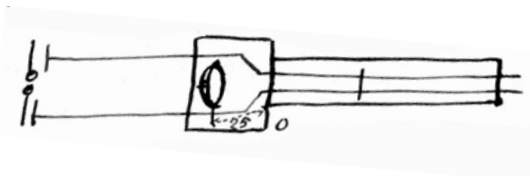
Indice de réfraction de l'eau  $\frac{145}{17} = 8,5$

Résonateur dans l'eau	1 <sup>er</sup> nœud	29	30	25	30	29	30
Fils dans l'eau	ventre	100	103	101	104	104	96
	2 <sup>e</sup> nœud	172	179	180	175	171	175

Le 2<sup>e</sup> nœud se détermine mal mais le premier est très net, ainsi que le ventre.

1/2 long d'onde (même que dans l'air) = 144<sup>cm</sup>

*Résonateur dans le plan perpendiculaire au plan des fils.<sup>3</sup>*



Distances du pont à partir du point O.

	ventre	32	30
Résonateur dans l'air	1 <sup>er</sup> nœud	108	107
Fils dans l'air	2 <sup>e</sup> ventre	173	178
	2 <sup>e</sup> nœud	246	248

1/2 longueur d'onde déduite de la distance des nœuds = 140<sup>cm</sup>

Résonateur dans l'air	1 <sup>er</sup> nœud	11,5	11,5
Fils dans l'eau	2 <sup>e</sup> nœud	29	28
	3 <sup>e</sup> nœud	46	45

$\frac{1}{2}$  longueur d'onde déduite de la distance des deux 1<sup>ers</sup> nœuds = 17<sup>cm</sup>

Indice de l'eau  $\frac{140}{17} = 8,2$

Résonateur dans l'eau	1 <sup>er</sup> ventre	28	30	28	30
Fils dans l'eau	1 <sup>er</sup> nœud	104	106	100	108
	2 <sup>e</sup> ventre	161	168	se détermine mal	

$\frac{1}{2}$  longueur d'onde déduite du 1<sup>er</sup> ventre et du 1<sup>er</sup> nœud = 150<sup>cm</sup>

Cette longueur d'onde ne se détermine pas assez facilement pour que l'on puisse admettre que la différence avec la longueur d'onde dans l'air soit due à autre chose qu'à des erreurs d'expérience.

Dans le cas où le résonateur était dans l'eau, j'avais craint que les vibrations ne soient considérablement amorties et que la résonance multiple ne subsiste plus, aussi j'ai fait l'expérience avec différentes longueurs d'onde de l'excitateur, elles m'ont donné des résultats concordants.

J'ai donc retrouvé avec l'eau les mêmes phénomènes que l'on avait trouvé avec des liquides isolants et non ceux annoncés par M. Turpain. La cause des phénomènes observés par M. Turpain ne m'apparaît toutefois pas nettement car si la seule explication que j'en ai trouvé est la vraie, il aurait dû retrouver en même temps que la longueur d'onde correspondant aux ondes qui se propagent en dehors de l'eau, celle qui correspond aux ondes qui se propagent dans l'eau très près des fils et qui est beaucoup plus facile à observer.

M. Blondlot me charge de le rappeler à votre bon souvenir. Je vous prie de présenter mes respectueux hommages à Madame Poincaré et de vouloir bien recevoir l'assurance de mes sentiments dévoués.

Votre bien dévoué.

C. Gutton

#### ALS 6p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Turpain (1899a); Gutton (1901); voir aussi (§ 29.1).

<sup>2</sup>Il s'agit du cas du résonateur sensible au champ magnétique.

<sup>3</sup>Il s'agit du cas du résonateur sensible au champ électrique, et on constate bien la coïncidence des nœuds de champ électrique avec les ventres de champ magnétique.

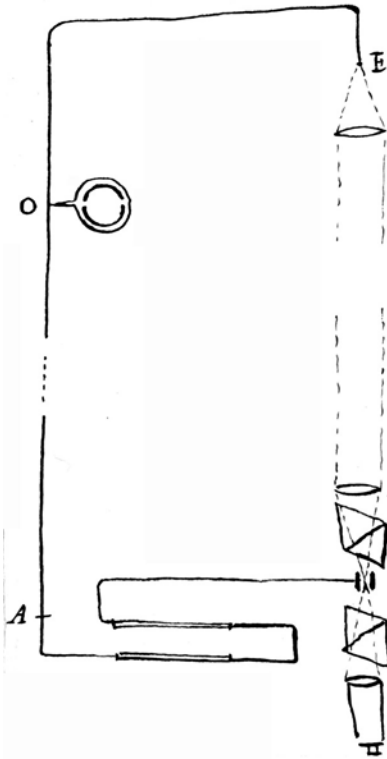
## 29.4 Gutton à Poincaré

Nancy 26 nov. 1910

Cher Monsieur,

Je vous envoie un exemplaire d'un cours d'électrotechnique que j'ai publié récemment, en vous priant de vouloir bien l'accepter en souvenir reconnaissant des nombreux conseils que vous m'avez donnés.<sup>1</sup>

J'ai fait cette année des expériences sur la propagation de l'électricité, dans le but de comparer directement les vitesses de la lumière et des ondes de Hertz le long des fils.<sup>2</sup>



Un exciteur envoie des ondes qui se partagent en  $O$  entre deux lignes de fils parallèles tendus l'un au dessus de l'autre. L'une des lignes aboutit à une étincelle  $E$ , l'autre à un très petit condensateur immergé dans le sulfure de carbone et disposé entre deux nicols croisés. Deux lentilles forment l'image de l'étincelle entre les armatures du condensateur, la lumière est reçue ensuite dans une lunette au point sur cette image. Les deux fils de la ligne qui va au condensateur peuvent être simultanément changés de longueur au moyen de deux coulisses analogues à celles d'une trombone. Si la lumière arrive au condensateur lorsqu'il est chargé et par suite biréfringent, l'image de l'étincelle est visible dans la lunette.

En tirant la coulisse, on observe que l'éclat de cette image passe par une série de minima et on peut déterminer à un centimètre près environ les positions de la coulisse qui correspondent à ces minima.

On rapproche ensuite l'excitateur de Hertz en supprimant une longueur  $OA$  de fil, on rapproche aussi de la même longueur les deux lentilles, de façon à diminuer de la même quantité d'une part le trajet des ondes électriques, d'autre part celui de la lumière.

On observe à nouveau les longueurs de la coulisse qui correspondent aux minima, elles devraient être les mêmes si les vitesses de la lumière et des ondes étaient rigoureusement égales, or en opérant sur une longueur de  $18,60^{\text{mètres}}$ , on trouve qu'il faut un peu augmenter le tirage de la coulisse. De cette augmentation on déduit l'écart relatif des vitesses de propagation.

Des expériences faites avec des condensateurs différents, des excitateurs soit du genre Blondlot, soit du genre Lecher immergés dans l'huile, m'ont montré que l'écart dépendait du diamètre, de la résistance spécifique des fils et de la longueur de la perturbation électrique.<sup>3</sup>

Je vous envoie les valeurs de la différence relative des vitesses que j'ai déterminée pour différents excitateurs et pour différents fils.

Fils	5 <sup>cm</sup> de diamètre avec un condensateur			Excitateurs genre Blondlot		Excitateurs genre Lecher			
				8 <sup>cm</sup> de diamètre	25 <sup>cm</sup> de diamètre	petit	plus grand		
fil de cuivre 0 <sup>mm</sup> ,97 de diamètre	$\frac{1}{321}$	$\frac{1}{345}$	$\frac{1}{398}$	$\frac{1}{345}$	$\frac{1}{235}$	$\frac{1}{233}$	$\frac{1}{244}$	$\frac{1}{127}$	$\frac{1}{147}$
fil de laiton 1 <sup>mm</sup> ,00 de diamètre	$\frac{1}{131}$			$\frac{1}{140}$	$\frac{1}{143}$	$\frac{1}{105}$	$\frac{1}{107}$	$\frac{1}{74}$	$\frac{1}{81}$
fil de cuivre 0 <sup>mm</sup> ,50 de diamètre		"		"		"	$\frac{1}{138}$		$\frac{1}{104}$
fil de cuivre étainé 0 <sup>mm</sup> ,50 de diamètre		"		"		"	$\frac{1}{77}$		$\frac{1}{58}$

Les expériences ne donnent pas des minima équidistants, et leur distance moyenne est plus petite que celle qui correspond à la longueur d'onde principale de l'excitateur. Cette particularité m'a arrêté quelque temps. J'ai reconnu en faisant des expériences de détermination des longueurs d'ondes par le procédé de Drude, c'est à dire en cherchant au bout d'une longue ligne, la distance de deux ponts pour laquelle la partie de ligne comprise entre eux est en résonance, que l'oscillation très amortie envoyée par l'excitateur résultait de la superposition de plusieurs oscillations plus courtes, de sorte que la courbe qui représente son intensité devrait présenter de nombreuses et irrégulières sinuosités.<sup>4</sup>

Comme la quantité de lumière rétablie par le phénomène de Kerr est proportionnelle à la 4<sup>ème</sup> puissance de la force électrique ces sinuosités s'exagèrent au point que les minima de lumière qui leur correspondent sont tous très visibles. Cette circonstance est d'ailleurs très favorable au succès des expériences car elle permet d'opérer sur des perturbations courtes quoiqu'intenses. Par le même procédé, on peut mesurer la vitesse de la lumière dans l'eau ou le sulfure de carbone.<sup>5</sup>

Je cherche actuellement à mettre en évidence la dispersion de la lumière par l'extinction pour des longueurs de lignes différentes du rouge et du bleu. Je suis arrêté par le fait que la lumière de l'étincelle entre des pointes de platine est presque complètement bleue et par le fait que le phénomène de polarisation chromatique fait aussi dominer le bleu. Si on arrive à voir du rouge, par exemple en mettant un sel de strontium sur les pointes entre lesquelles jaillit l'étincelle, le rouge que l'on obtient ne donne lieu à aucun minimum d'intensité. Cela tient sans doute à ce que la température ne s'abaisse jamais assez pour que les variations d'éclat des vapeurs métalliques puissent suivre les oscillations de l'étincelle.

J'essaie maintenant d'employer des tubes de Geissler à hydrogène et d'opérer soit sur la raie bleue, soit sur la raie rouge.<sup>6</sup> Peut-être en employant des ondes plus longues et par suite plus intenses, arriverai je à obtenir une lumière rouge qui suive les oscillations de l'étincelle ?

Je vous prie, cher Monsieur, d'excuser cette longue lettre. Connaissant votre bienveillance et sachant que la question de propagation de l'électricité avait depuis longtemps attiré votre attention, j'ai pris la liberté de vous l'envoyer. Voudrez-vous, je vous prie, présenter mes hommages respectueux à Madame Poincaré et recevoir l'assurance de mon profond et affectueux dévouement.

M. Blondlot me charge de vous envoyer ses meilleures amitiés.

Votre bien dévoué,

C. Gutton

**ALS 6p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Gutton (1911c). Aucune trace des conseils de Poincaré n'a été retrouvée.

<sup>2</sup>Gutton (1911a,b, 1912).

<sup>3</sup>Ernst Lecher.

<sup>4</sup>Paul Drude.

<sup>5</sup>John Kerr (1824–1907), physicien écossais, remarqua en 1875 que lorsqu'on soumet un diélectrique transparent à un champ électrique, il devient biréfringent.

<sup>6</sup>Heinrich Geissler (1814–1879) développa une technique pour étudier des effets lumineux des décharges à basse pression, qui utilisait des tubes de verre remplis d'un gaz raréfié, avec une partie centrale capillaire dans laquelle le phénomène lumineux est plus éclatant.

## Chapitre 30

# Heinrich Hertz

Heinrich Hertz (1857–1894) commence ses études à la Technische Hochschule de Dresde en 1876, avant de faire son service militaire dans un régiment de chemin de fer à Berlin. En 1877 il s'inscrit dans des études d'ingénieur à la Technische Hochschule de Munich, puis à l'université de Munich. L'année suivante, Hertz s'inscrit à l'université de Berlin, où il suit les cours de Kirchhoff et de Helmholtz. Il soutient une thèse de physique en 1880, et devient l'assistant de Helmholtz. En 1883 il devient Privatdozent à l'université de Kiel, où il enseigne la physique théorique, et en 1885 il est professeur de physique expérimentale à la Technische Hochschule de Karlsruhe. Hertz invente alors un appareil qui produit des oscillations électriques dans des fils à des fréquences très élevées. Le résonateur de Hertz lui permet de confirmer, en 1887, l'existence des ondes électromagnétiques se propageant dans l'air avec une vitesse finie, un effet prévu par la théorie de Maxwell. La valeur de cette découverte est reconnue à l'Académie des sciences, qui décerne à Hertz le prix La Caze de physique en 1889 (Gauja, 1917, 229).

La correspondance entre Hertz et Poincaré se situe dans le cadre de ces expériences célèbres. Hertz quitte Karlsruhe pour l'université de Bonn en 1889, lorsque les physiciens se mettent à refaire ses expériences. Poincaré s'y intéresse, lui aussi ; ses leçons du printemps 1890 ont pour sujet les expériences de Hertz. Mais Hertz est malade, et ne peut continuer ses recherches expérimentales après 1891. Il conçoit alors d'une mécanique sans forces (1894), à laquelle Poincaré s'intéressera plus tard (1897b), avant de mourir le premier janvier 1894 d'une septicémie.<sup>1</sup>

### Notes

<sup>1</sup> Sur la vie et les travaux de Hertz, voir le *DSB*, Buchwald (1994), et Fölsing (1997), ainsi que les *Memoirs* de Hertz (1977). Pour une analyse de la correspondance entre Hertz et Poincaré, voir Bolmont (1996).

### 30.1 Poincaré à Hertz

[Ca. 15.08.1890]

Monsieur et cher Collègue,

J'envoie à l'Académie des Sciences de Paris une note qui contient une rectification à l'un des calculs qui accompagnent vos admirables expériences.<sup>1</sup> Comme cette rectification porte sur un point important et est de nature à remettre bien des choses en question, je crois devoir vous la communiquer, parce que vous êtes mieux à même que personne de résoudre les problèmes qu'elle soulève.<sup>2</sup> Croyez d'ailleurs, Monsieur, que je n'en demeure pas moins un admirateur de votre génie, et que si le but que l'on croyait si proche semble s'éloigner, je ne crois pas que la valeur de vos recherches s'en trouve diminuée en quoi que ce soit. Ces protestations devraient être inutiles et elles le seraient en effet si les savants de nos deux nations avaient toujours montré les uns pour les autres une parfaite bienveillance.<sup>3</sup>

Pardonnez moi ce long préambule, je viens au fait : Dans le Tome 31 de *Wiedemann* pour calculer la période d'un excitateur, vous appliquez une formule d'après laquelle cette période (*entière*) est égale à

$$2\pi\sqrt{LC}$$

$C$  étant la capacité d'un condensateur et  $L$  la self-induction du fil qui en relie les deux plateaux.<sup>4</sup> Dans cette formule, on désigne par  $C$  le rapport de la charge de l'une des armatures par la différence de potentiel des deux armatures.

Il est aisé de s'en assurer en refaisant le calcul. Soient  $+q$  et  $-q$  les charges des deux armatures  $V_1$  et  $V_2$  leurs potentiels. On a en négligeant comme il convient la résistance des conducteurs :

$$L \frac{di}{dt} = V_2 - V_1 = -\frac{q}{C}$$

ou puisque  $i = \frac{dq}{dt}$  :

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0.$$

Dans le cas où les deux plateaux sont remplacés par deux sphères de 150<sup>mm</sup> placées à une grande distance l'une de l'autre on a :

$$V_1 = \frac{q}{150^{\text{mm}}} \quad V_2 = -\frac{q}{150^{\text{mm}}}$$

d'où :

$$C = \frac{q}{V_1 - V_2} = 75^{\text{mm}}$$

et non pas 150<sup>mm</sup>.<sup>5</sup>

Il résulte de là que la longueur d'onde calculée doit être multipliée par  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  et que la comparaison du calcul avec l'observation fournirait pour la vitesse de propagation

$$300000 \text{ Kilomètres} \times \sqrt{2}.$$

Cela toutefois si le calcul est exact d'autre part et si l'influence des circonstances négligées est réellement négligeable.<sup>6</sup>

Il est évident que les hypothèses sur lesquelles repose la formule  $2\pi\sqrt{LC}$  sont loin d'être réalisées, qu'il existe dans le diélectrique autour de l'excitateur des courants de déplacement dont cette formule ne tient aucun compte et qui ont peut-être une influence.<sup>7</sup>

Que pensez-vous de cela ; croyez-vous que les circonstances ainsi négligées suffisent pour expliquer la divergence que je vous ai signalée ? Ou bien estimez-vous qu'on doive modifier la théorie et par exemple renoncer à supposer que si les conducteurs sont parfaits ou les oscillations très rapides, les lignes de force électrique sont normales à la surface des conducteurs.<sup>8</sup>

Permettez-moi en terminant de me féliciter d'avoir trouvé ainsi une occasion d'entrer en rapport avec un homme de votre valeur.

Veuillez agréer, Monsieur et cher Collègue, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Poincaré

Mon adresse actuelle jusqu'au 30 Août est M. Poincaré aux Petites Dalles, Seine Inférieure

à partir de 30 Août : rue de Serre 9 Nancy, Meurthe et Moselle.

#### ALS 4p. HS 03001, Archiv, Deutsches Museum.

<sup>1</sup>Poincaré (1890a), où Poincaré signale une erreur de Hertz sur la définition de la capacité de l'excitateur. L'erreur avait déjà été remarquée par Oliver Lodge (1889, 65).

<sup>2</sup>A propos de la rectification de l'erreur, voir Whittaker (1951–1953, I, 324n4), et Darrigol (2000a, 251).

<sup>3</sup>Poincaré pense peut-être aux remarques critiques prononcées par Alfred Cornu (1890) à l'encontre de Hertz, suite à sa communication d'une note de Sarasin et de la Rive (1890a), qui met en évidence la résonance multiple.

<sup>4</sup>Hertz (1887b). L'analyse du phénomène à l'excitateur est conduite par Hertz dans le cadre de la théorie de W. Thomson : il s'agit d'un circuit classique contenant une résistance  $R$ , une bobine de self-induction  $L$  et un condensateur  $C$ . Selon les notations de Poincaré,  $C'$  est la capacité de chaque sphère,  $C$  celle du condensateur formé de ces deux sphères,  $L$  la self-induction du circuit et  $R$  la résistance électrique du circuit. Si l'effet de la résistance est très faible, et si les oscillations sont très rapides, ce qui est le cas dans ce circuit, on obtiendra des oscillations pseudo-périodiques dont la période  $T$  s'exprime selon la formule connue  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ . Le montage expérimental de Hertz rentre dans ce cadre théorique. Le calcul, corrigé ici par Poincaré, consiste à déterminer par des lois connues, d'une part le coefficient de self-induction  $L$  et d'autre part la capacité  $C$ .

Le calcul de l'inductance  $L$  est conduit par Hertz en considérant l'oscillateur comme un fil rectiligne et sans tenir compte des deux sphères. Poincaré, suivant la théorie de W. Thomson sur les courants oscillant rapidement, considère une propagation de ce courant en surface, ce qui conduit à la formule correcte, où  $\ell$  est la longueur du fil et  $d$  son diamètre :

$$L = 2\ell \left( \log \frac{4\ell}{d} - 1 \right)$$

alors que Hertz admet une distribution de courant uniforme du centre à la surface du conducteur. Il utilise la formule :

$$L = 2\ell \left( \log \frac{4\ell}{d} - 0.75 \right).$$

Poincaré admet cependant que "la différence entre les deux formules est très petite".

<sup>5</sup>Les unités employées sont celles de Gauss (CGS). En unités SI, la capacité d'une sphère de rayon  $R$  s'exprime selon la formule :  $C = 4\pi\epsilon_0 R$ . Si on utilise les unités électrostatiques, alors  $C = R$  se note en cm. La formule  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  est valable si on exprime  $L$  et  $C$  en unités électromagnétiques telles qu'elles étaient définies à l'époque de Hertz. Or Hertz utilise  $\lambda = \pi\sqrt{LC}$ , ce qui signifie que la racine est homogène



à une longueur et non plus à  $\pi/2$  temps comme dans la relation de définition de la période  $T$ . Hertz utilise en effet deux systèmes d'unités, électromagnétique pour l'inductance  $L$ , électrostatique pour la capacité  $C$ . La longueur d'onde du phénomène doit donc s'exprimer sous la forme  $\lambda = 2\pi\sqrt{LC}$ , ce qui montre que Hertz ne considère que la demi-longueur d'onde.

<sup>6</sup>Connaissant la loi reliant longueur d'onde, période et vitesse :  $\lambda = VT$ .

<sup>7</sup>Selon la théorie de Maxwell, il ne peut y avoir que des courants fermés.

<sup>8</sup>Cette propriété du champ électrique est une conséquence de la localisation à la surface des conducteurs des courants de conduction dans le cas de fréquences très élevées ; elle n'est admise que si les fils ont une section infiniment petite (fil assimilé à une droite). Poincaré précise qu'il faut que les conducteurs soient parfaits, ce qui est une propriété acquise des conducteurs parcourus par des courants de très haute fréquence. Dès que le diamètre du fil n'est plus infiniment petit, en revanche, la direction de la force électrique fera avec la surface du conducteur un angle voisin de  $\pi/2$  (1894a, 146).

## 30.2 Hertz à Poincaré

Wahn près Bonn, 21 août 1890

(Mon adresse : Bonn)<sup>1</sup>

Monsieur et très honoré collègue,

Le préambule que vous faites à votre aimable lettre n'est pas du tout inutile puisqu'il vous gagne toutes mes sympathies. Je regarde avec une vraie et profonde tristesse tout ce qui peut intercéder à une bienveillance mutuelle entre les savants de nos nations et j'admire de tout mon cœur la magnanimité, qui sait distinguer le domaine de la science des autres choses humaines. Je viens au fait moi-même. L'erreur que vous avez découverte est une véritable erreur assez désagréable. Aussi l'ai-je remarquée depuis longtemps et de même a-t-elle été remarquée par M. J.O. Lodge, bien qu'il se soit exprimé, comme s'il était douteux quelle manière de voir était la juste. Je suis séparé pour quelques semaines de mes papiers, ainsi je ne peux pas vous donner le lieu exact de sa publication (Une lettre à l'*Electrician* ou à la *Nature*??).<sup>2</sup> J'ai commis une grande faute de ne pas signaler publiquement et promptement cette erreur. La raison en était, que lorsque je la remarquais, je voyais déjà d'un œil peu favorable tout le mémoire où je l'ai commise. Quant au calcul, l'application de la formule  $2\pi\sqrt{LC}$  ne me semblait plus donner qu'une approximation très éloignée. Quant aux expériences j'avais quantité de raisons de douter de leur exactitude quantitative. Lorsque je faisais ces expériences, qui étaient les premières, je me doutais fort peu des réflexions des ondes par les murs, il est possible que ces réflexions avaient déplacé les points d'interférences etc. etc.<sup>3</sup> Mon intention était donc de revoir toute la matière expérimentalement et théoriquement et je croyais que je pouvais remettre jusque là la rectification de cette erreur. Mais les circonstances m'ont empêché trop longtemps de faire cela. Voilà donc qu'il est trop tard.

Voilà ma justification personnelle. *Errare humanum est*. Devant un juge bienveillant je ne subirai pas la récrimination, que j'ai fait cadrer les expériences avec mes opinions. Mon opinion était que les vitesses dans le fil et dans l'air devaient être les mêmes, ce que j'observais était bien contre mon opinion. Tout le travail n'était qu'une première tentative fort imparfaite, je ne le regarde que comme telle et un juge bienveillant se mettra sur le même point de vue.

J'avais le plaisir, monsieur et très cher collègue, de voir M. Mittag-Leffler de Stockholm il y a quelques semaines, qui m'apportait de vos nouvelles.<sup>4</sup> Je vous remercie très sincèrement de m'avoir écrit préalablement dans cette manière, par là vous avez dépourvu votre publication de toute pointe blessante pour moi. M. Mittag-Leffler me disait que vous travaillez aussi à la théorie générale, je suis très curieux de la manière dont vous la proposez.

Veillez agréer, monsieur, l'expression de ma considération la plus distinguée.

H. Hertz

#### ALS 4p. Collection privée.

<sup>1</sup>Hertz est à l'université de Bonn depuis le printemps 1889. Il remplace Rudolf Clausius, décédé en 1888, et habite la maison de ce dernier.

<sup>2</sup>Voir plutôt l'addendum daté par Lodge le 20.06.1889, de (Lodge et Howard, 1889), numéro de juillet. L'erreur est signalée par Hertz dans l'introduction de ses Œuvres (1892–1895) : "Erstens ist die Arbeit entstellt durch einen Rechenfehler. Die Schwingungsdauer ist im Verhältniss von  $\sqrt{2}$  : 1 zu gross berechnet." Hertz n'en remet pas en cause pour autant la rédaction de son mémoire et affirme sa confiance dans la théorie.

<sup>3</sup>Hertz menait les expériences en question à la fin de l'année 1886 au laboratoire de la Technische Hochschule de Karlsruhe.

<sup>4</sup>A propos des relations de Poincaré avec Mittag-Leffler voir Nabonnand (1999).

## 30.3 Poincaré à Hertz

Nancy, le 11 Septembre 1890

Monsieur et cher Collègue,

J'ai pris la liberté de vous faire adresser dernièrement le premier volume d'un ouvrage relatif à l'Électrooptique et contenant mes leçons de 1888, bien que cet ouvrage, (uniquement destiné à faire comprendre Maxwell à des intelligences imbues des idées anciennes, en rattachant le plus possible les idées de Maxwell à ces idées anciennes) doive être considéré comme un simple ouvrage d'enseignement.<sup>1</sup>

Je suis en train de revoir la rédaction faite par un de mes élèves de mes leçons de 1890 dont je compte faire un second volume de ce même ouvrage.<sup>2</sup>

A ce sujet permettez moi de vous adresser une question ? Dans ces leçons j'ai fait ressortir la différence de vos idées sur le rôle de l'interrupteur à étincelles avec celles qui ont été émises par M. Brillouin dans un article de la *Revue Générale des Sciences*. M. Brillouin compare cet interrupteur à une *anche* de sorte que les insuccès que l'on éprouve souvent quand le bruit de l'étincelle change de nature soit parce que la boule de l'interrupteur est éclairée par des rayons violets, soit pour tout autre cause, soit même sans qu'on sache pourquoi, seraient dus à ce que la période de l'excitateur ne serait plus à l'unisson avec la période propre de l'étincelle.<sup>3</sup> J'ai dit que vous interprétiez ces phénomènes d'une autre manière ; avant que l'étincelle jaillisse, la différence de potentiel des deux boules est contrebalancée par la résistance de l'interrupteur c'est à dire par une force contre électromotrice qui joue le rôle d'une sorte de *frottement au départ*. Au moment où l'étincelle jaillit cette force électromotrice disparaît plus ou moins brusquement suivant

les circonstances. Si cette disparition est assez brusque, les oscillations ont lieu, sinon, non.

Je me demande si j'ai bien compris votre pensée ?

J'ai reçu dernièrement la traduction française de votre mémoire sur le mouvement de l'électricité que j'avais déjà lu en allemand dans les *Annales de Göttingen*.<sup>4</sup> Je vous remercie beaucoup de cet envoi.

Veillez agréer, Monsieur et cher Collègue, l'assurance de mes sentiments d'estime et d'amitié,

Poincaré

Actuellement à Nancy, rue de Serre 9 (jusqu'au 15 Octobre).

**ALS 3p. HS 03000, Archiv, Deutsches Museum.**

<sup>1</sup>Poincaré (1890–1891).

<sup>2</sup>L'élève en question est Bernard Brunhes ; le premier volume fut rédigé par Jules Blondin.

<sup>3</sup>Brillouin (1890), où Brillouin fait valoir une analogie avec les ondes sonores, comme l'a fait d'ailleurs Hertz (1889b).

<sup>4</sup>Poincaré pense sans doute à (Hertz, 1890a), dont une traduction française sera publiée en avril (1891b). Hertz lui enverra un tiré à part de l'article en allemand le 07.12.1890 (§30.11).

## 30.4 Hertz à Poincaré

Bonn, le 22 Sept. 1890

Monsieur et cher collègue,

J'ai eu le plaisir de recevoir votre aimable lettre du 11 de ce mois et de même le livre, que vous avez bien voulu me faire transmettre.<sup>1</sup> Je l'ai parcouru avec le plus vif intérêt ; c'est une question très intéressante comment on peut faire la transition de la vieille manière de voir aux vues plus modernes et j'étais fort curieux de voir comment vous la faite. Ce qui prouve le mieux à mon opinion la solidité et la valeur des vieilles idées, c'est qu'on saurait difficilement s'en passer, même quand on prend pour prouvées déjà les vues de Faraday et Maxwell. On a beau protester et dire que l'électricité n'est pas une substance, il est assez difficile de ne pas la traiter comme telle dans le calcul.<sup>2</sup> Semblablement quant au courant permanent dans les métaux. Il me semble que vous avez trouvé un juste milieu et j'ai éprouvé beaucoup de plaisir dans la lecture de votre livre. Vous m'adressez une question qui concerne l'action de l'étincelle dans la production des vibrations. Je peux répondre très simplement, que vous avez exposé exactement ma pensée : Si la disparition de la différence de potentiel est assez brusque, les oscillations ont lieu, sinon, non. Quant aux idées de M. Brillouin, je n'y vois pas bien, ce qu'il entend par „ période propre des étincelles “. Mais j'avoue que je n'ai pas lu son travail dans l'original.<sup>3</sup> Vous aurez reçu ma réponse à votre première lettre, j'y ai à ajouter que je serai charmé d'avoir un exemplaire de votre remarque sur l'usage de la formule  $\pi \sqrt{CP}$ .<sup>4</sup> Je vous enverrai désormais tout ce que je publierai, c'est la seule manière que j'ai de répondre au bel envoi, que vous m'avez fait. Recevez, monsieur et cher collègue, mes remerciements les plus sincères et

soyez persuadé que je fais le plus grand cas vos lettres et de votre amitié. Pardonnez-moi, si mes expressions ne sont pas toujours bien choisies et agréez l'assurance de ma considération la plus distinguée.

H. Hertz

### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Voir Poincaré à Hertz (§ 30.3); Hertz vient de recevoir le premier tome d'*Électricité et optique* (1890–1891).

<sup>2</sup>Voir la fin de l'introduction du cours de Poincaré (1890–1891, II, XVII–XVIII) :

De même l'hypothèse de la constitution cellulaire des diélectriques, n'est destinée qu'à faire mieux comprendre l'idée de Maxwell en la rapprochant des idées qui nous sont plus familières. ... [I]l importe d'observer que Maxwell n'a jamais regardé « what we may call an electric displacement » comme un véritable mouvement d'une véritable matière.

<sup>3</sup>Hertz répond à une question de Poincaré (§ 30.3), à propos d'une interprétation de M. Brillouin.

<sup>4</sup>Voir (§30.2), et (Poincaré, 1890a), que Poincaré ne lui communiquera pas, n'ayant pas d'exemplaire. En revanche, il promet (§ 30.5) de lui envoyer un tirage à part de (1890b). La formule en question est celle de la longueur d'onde, où  $C$  signifie la capacité du condensateur, et  $P$  est le coefficient de self-induction du fil reliant les armatures de l'excitateur.

## 30.5 Poincaré à Hertz

Rome, le 8 Octobre 1890

Monsieur et cher Collège,

Je vous remercie beaucoup de votre lettre et je vous demande bien pardon de n'y avoir pas répondu plus tôt; j'ai beaucoup circulé depuis quelques jours.<sup>1</sup>

Je n'ai pas fait faire de tirage à part de la note que j'ai communiquée à l'Académie; je n'en fais jamais de mes notes des *Comptes Rendus*.<sup>2</sup>

Mais cette note sera reproduite dans les *Archives de Genève*; je crois même d'après ce que m'écrit M. de la Rive qu'elle y a déjà paru.<sup>3</sup> Probablement ces messieurs m'en donneront des tirages à part et je vous en enverrai un.

Voulez-vous me permettre maintenant quelques questions encore? Lorsque vous opérez avec le petit excitateur et un miroir formé d'une plaque de zinc parabolique, vous interposez entre l'excitateur et le miroir un morceau de bois de peur que la lumière de l'étincelle réfléchi sur le miroir n'empêche les oscillations de se produire.<sup>4</sup> Or M. Blondlot ayant opéré avec le *grand* excitateur et un miroir a constaté que l'étincelle reste oscillante quand même sa lumière après s'être réfléchi sur le miroir vient frapper l'interrupteur où cette même étincelle se produit.

Alors voici ce que je voudrais vous demander: avez-vous placé votre morceau de bois *préventivement* sans avoir constaté ce qui se passerait si on le supprimait ou bien y a-t-il une différence à cet égard entre le petit et le grand excitateur?

Maintenant une autre question?

Vous m'avez dit dans la première lettre que vous avez bien voulu m'écrire que les expériences par lesquelles vous aviez trouvé la longueur d'onde de 4m.80 vous semblaient douteuses parce que la réflexion sur les murs déplace les points d'interférence.<sup>5</sup> Cette objection est applicable aux expériences de la première méthode par interférence des ondes

transmises par le fil avec les ondes transmises par l'air ; mais elle ne l'est pas à celle de la 2<sup>de</sup> méthode par interférence des ondes transmises par l'air avec les ondes réfléchies par le mur. Or voici que MM. Sarrazin et de la Rive viennent de faire des expériences par cette seconde méthode. Leur résonateur de 75 centim. avait des dimensions assez peu différentes du votre si je me rappelle bien ; l'excitateur était aussi à peu près le même ; ils semblent avoir opéré absolument dans les mêmes conditions que vous, avoir orienté le résonateur par rapport au mur de la même manière et ils ont trouvé des internœuds de 3 mètres. A quoi peut-on attribuer cette différence, est-ce à la forme de la salle, à la réflexion sur des parois latérales plus ou moins rapprochées l'une de l'autre, aux colonnes en fonte que vous aviez dans votre salle ;<sup>6</sup> il me semble qu'il serait bien intéressant d'étudier l'influence de ces diverses circonstances en opérant avec des paravents mobiles. Si en effet le chiffre de M. Sarrazin venait à se confirmer, si on trouvait que c'est là la longueur d'onde qu'on obtient quand toutes les circonstances perturbatrices sont éliminées, la plupart des difficultés disparaîtraient.<sup>7</sup>

Je vous demande pardon d'abuser ainsi de votre obligeance à laquelle j'aurai sans doute encore recours bien des fois.

Permettez moi de vous soumettre une explication dont j'ai déjà entretenu M. Sarrazin et M. Blondlot pour rendre compte des expériences de MM. S[arasin] et de la R[ive].<sup>8</sup> L'explication la plus naturelle c'est que le primaire émet un spectre continu, mais il me semble qu'il y en a une autre. Supposons que le primaire émette des vibrations qui décroissent très rapidement ; elles auront une courte durée et seront peu capables d'interférer. Supposons que la décroissance des oscillations du secondaire soit plus lente ; pendant une première période très courte, le secondaire serait *mis en train* par le primaire puis, le primaire s'étant éteint, il continuerait à vibrer pendant un temps relativement long avec sa période propre ; ce seraient alors ces vibrations du résonateur seul (de longue durée et interférant bien) que l'on observerait ; on s'expliquerait alors comment la longueur d'onde dépend uniquement du résonateur.<sup>9</sup>

Je ne vous propose cette explication que timidement. Pour ce qui est de la « période propre de l'étincelle » de M. Brillouin je ne comprends pas mieux que vous ce qu'il entend par là.<sup>10</sup>

*Écrivez moi désormais à Paris* où je rentre le 20, et croyez aux sentiments bien dévoués de votre collègue.

Poincaré

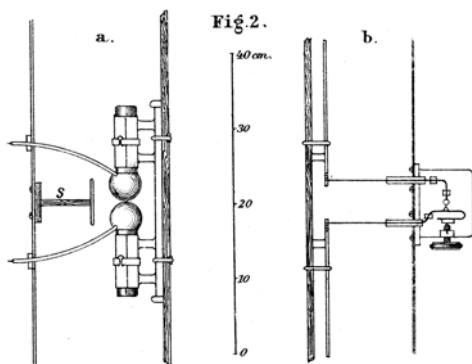
**ALS 4p. HS 02996, Archiv, Deutsches Museum.**

<sup>1</sup> Poincaré répond à (§ 30.4).

<sup>2</sup> Hertz sollicite (§ 30.4) un exemplaire de (Poincaré, 1890a).

<sup>3</sup> Poincaré (1890b).

<sup>4</sup> A l'automne 1888, Hertz produit des ondes de longueur d'onde courte (30 cm). Sur le croquis représentant l'excitateur et le résonateur (1889a, Taf. IX, Fig. 2), on voit un petit dispositif en bois noté *s* (croquis a) dont Hertz et Poincaré discutent le bien fondé.



L'excitateur et le résonateur de Hertz (1889a).

Pour Hertz, le bois fait écran à l'action d'une lumière bleutée provoquée par des décharges à l'endroit où les fils traversent le miroir de zinc. Ce phénomène, connu plus tard comme l'effet photoélectrique, fut noté par Hertz (1887a).

<sup>5</sup>Voir (§ 30.2).

<sup>6</sup>Hertz décrit le dispositif ainsi que les caractéristiques de la salle dans laquelle il a conduit ces expériences de réflexion. Il utilise des miroirs plans constitués de feuilles métalliques et considère les piliers métalliques comme formant un mur pour les ondes, réduisant ainsi la largeur efficace de la salle.

<sup>7</sup>Poincaré garde cette réserve dans son traité (1890–1891, II, 248).

<sup>8</sup>Hertz a conduit ses expériences avec un résonateur de même période que l'excitateur. En reprenant le dispositif de Hertz, Sarasin et de la Rive ont modifié les dimensions de leur résonateur et montré que la longueur d'onde trouvée dépendait des dimensions du résonateur, un phénomène qu'ils ont désigné (1890a) sous le nom de résonance multiple :

On est fondé à admettre que le système ondulatoire électrique produit par un tel excitateur contient toutes les longueurs d'ondes possibles entre certaines limites, chaque résonateur choisissant dans cet ensemble complexe, pour en montrer les ondes stationnaires, l'ondulation dont la période correspond à la sienne propre. C'est donc ce qu'on peut appeler résonance multiple des ondulations électriques, comme on a déjà appelé résonateurs les appareils destinés à mettre en évidence le mouvement vibratoire . . .

Le problème posé par la résonance multiple ne sera pas vraiment résolu mais disparaîtra lors de l'utilisation d'autres types de récepteurs, notamment le tube de Geissler ou le bolomètre de Langley. D'ailleurs, comme le note Poincaré (1890–1891, II, Note V), la forme rectiligne du résonateur des dernières expériences de Hertz supprime presque complètement la résonance multiple.

<sup>9</sup>Poincaré et V. Bjerknes proposent une première explication dans laquelle l'amortissement du courant est très faible dans le résonateur et important dans l'excitateur, ce que Bjerknes (1891d) vérifiera expérimentalement. Pour Bjerknes, le phénomène au résonateur fait intervenir la superposition d'ondes, celles émises par l'excitateur et des ondes correspondant aux oscillations propres au résonateur. Pour Poincaré, le résonateur est le siège d'ondes stationnaires avec un nœud aux deux extrémités du fil. Ainsi, "la longueur du résonateur sera la moitié de la longueur d'onde", pourvu qu'on néglige les capacités des sphères du résonateur (1894a, 130).

<sup>10</sup>Brillouin (1890), mentionné par Poincaré dans sa lettre du 11.09.1890 (§ 30.3).

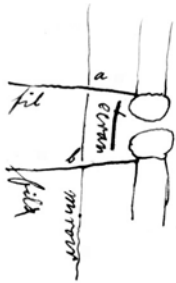
## 30.6 Hertz à Poincaré

Bonn, 19 oct. 1890

Monsieur et cher collègue,

C'est avec un véritable plaisir que je réponds aux observations contenues dans votre lettre du 8, qui me paraissent fort justes.<sup>1</sup>

Donc 1° : Le petit écran de bois n'a pas le but de protéger l'étincelle contre l'influence de sa propre lumière réfléchiée du miroir, mais contre une autre lumière.



En *a* et *b*, où les fils venants du Ruhmkorff et couverts de caoutchuck traversent le miroir, il y a des décharges d'une lumière très faible mais très nuisible entre la surface extérieure du caoutchuck et le métal du miroir.<sup>2</sup> Ces décharges sont antérieures à ce qu'il paraît à la décharge principale et c'est contre l'influence de leur lumière que le petit écran doit servir. Ce n'est pas préventivement, mais après avoir éprouvé l'influence nuisible, que je l'ai employé. Mais il est vrai, qu'on aurait pu éviter cette influence d'une autre manière, en faisant plus épais le caoutchuck, ou en déplaçant les trous percés dans le miroir, etc., etc.



2° Il est difficile pour moi-même de croire que je me sois trompé dans la deuxième méthode autant que de trouver 4,8 m au lieu de 3 mtr, mais puisque toute la vraisemblance théorique est du côté de Mrss. de la Rive et Sarasin, j'ai bien songé à ce qui en pourrait être la cause et voilà deux manières dont on peut expliquer la différence.

Les ondes se produisent entre *deux* faces parallèles d'une salle, je n'ai tenu compte que d'une seule face *a*, dite la réfléchissante.

Supposons d'abord que la longueur de la salle soit égale à un multiple exact de longueur d'onde, disons à trois longueurs d'onde.<sup>3</sup> Nous aurons deux nœuds très prononcés, qui auront la distance exacte. Si la longueur de la salle est égale à 4 longueurs d'ondes nous aurons trois nœuds très prononcés. Mais supposons que la longueur de la salle ait une valeur intermédiaire et plus rapprochée de la première, nous aurons deux nœuds moins distincts, dont la distance sera plus grande que la véritable longueur d'onde. Cette explication ne paraîtrait bonne, si la différence n'était pas trop grande. L'autre est celle ci.



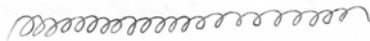
Ma table de zinc réfléchissante était établie dans une niche du mur, il serait possible, que les points proéminents du mur *a* et *b* aient eu l'effet d'éloigner les nœuds du mur et de donner une valeur trop grande aux longueurs mesurées des ondes. Mais il est vrai aussi, que la niche était large de cinq à six mètres, et il ne me semblait pas et ne me semble pas très vraisemblable, que cette circonstance avait un grand effet. Je ne sais donc pas exactement la cause de mon erreur, mais je crois qu'il y en a. J'ai depuis longtemps cherché en vain pour trouver une cause plausible pour la différence de la vitesse dans l'air et dans les fils, j'ai trouvé moi-même avant Mess. Sarasin et de la Rive, qu'il n'y a pas de différence pour les ondes courtes de 30 cm de longueur, enfin les expériences de ces Messieurs donnent la même vitesse aussi pour les ondes de grandes longueurs et contredisent mes expériences. Je ne dois pas vous taire du reste, que j'ai aussi eu des raisons théoriques pour croire qu'il y devrait avoir une différence, mais qui sans doute sont erronées. La première était que, dans un fil solitaire, dans lequel une onde se propage avec la vitesse de la lumière, la propagation de l'énergie devient infini, tandis qu'elle reste finie, si la propagation est plus lente (ou si l'onde se propage entre deux fils). En effet, puisque la force électrique et la force magnétique dans ce cas décroissent comme la distance *r* du fil, le flux de l'énergie est donné par une intégrale de la forme

$$\int \frac{1}{r} \cdot \frac{1}{r} \cdot 2\pi r \cdot dr$$

entre les limites *R* (rayon du fil) et  $\infty$ . La deuxième raison théorique est celle-ci : Considérons un fil très bon conducteur, mais qui ne soit pas droit, mais ait de petites irrégularités, *très petites* par rapport à la longueur de l'onde, par exemple comme ça



ou bien une spirale :



quelle devrait y être la vitesse de propagation? J'y ai réfléchi et je crois que d'après la théorie ces petites irrégularités devraient être sans effet, et que la propagation devrait avoir la même vitesse\* que dans un fil tendu, ce qui n'est certainement pas le cas dans la réalité.<sup>4</sup> Alors je me suis dit, que la même cause inconnu, qui ici retarde l'onde, doit la retarder aussi un peu dans un fil tendu. En peu de mots : Je crois que les expériences de Mess. Sarasin et de la Rive sont les meilleures, je crois qu'ils ont raison dans leur conclusions, mais il y a encore des raisons pour et contre, je ne vois pas clair, et je n'aime donc pas encore avoir une opinion définitive.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Variante : "je ne pense donc pas encore".



3° : Les expériences de Mrs Sar. et d. I. R. sur l'usage de divers résonateurs me plaisent beaucoup et me semblent fort belles, mais leur explication par un spectre continu émis du primaire me déplaît absolument. Ma manière de voir est certainement très rapprochée de la vôtre, peut-être elle est toute à fait la même. Si le primaire produisait une vibration régulière continue, comme ça :



il ferait vibrer les résonateurs en harmonie mille fois mieux que les autres. S'il ne produisait qu'un simple choc, comme ça :



il ferait vibrer tous les résonateurs également bien. La vérité est entre ces extrêmes, la vibration du primaire aura cette forme :



De là elle fera vibrer tous les résonateurs, mais mieux ceux qui sont en harmonie que les autres. Ou la même chose prise mathématiquement : Si nous voulons représenter la forme *A* comme une somme de sinus, nous n'aurons qu'un seul membre. Si nous voulons représenter la forme *B*, nous devons employer une intégrale de Fourier qui contiendra un nombre infini de sinus de toutes longueurs. Mais on ne saurait dire pour cela, que la forme *B* n'a pas de période distincte, ni qu'elle équivale à un spectre continu.

J'ai eu quelque correspondance sur cette question avec Mess S[arasin] et de I. R[ive] mais nous n'avons pas pu nous mettre d'accord. Dans vos lignes je crois apercevoir à peu près la même manière de voir et si je n'en suis pas sûr, c'est peut-être parce que en réalité le cas est un peu complexe et ne peut pas être absolu en peu de lignes.<sup>b</sup>

Ma lettre est devenue un peu longue, je vous en demande pardon. Si vous avez le temps de réfléchir sur la propagation des ondes le long d'un fil droit mais présentant de petites sinuosités très-petites par rapport à la longueur d'onde, et si vous aviez l'obligeance de me communiquer votre résultat vous me feriez un vrai service. Je ne trouve pas un autre résultat que celui que j'ai dit, mais il paraît qu'il est faux, du moins il n'est pas en harmonie avec la réalité.

<sup>b</sup>Variante : "ce n'est pas le cas exactement".

Vos lettres me causent une véritable joie, croyez-le moi, et agréez l'assurance de ma considération la plus distinguée de votre collègue.

H. Hertz

\* mesurée le long de l'axe de la spirale

**ALS 8p. Collection particulière, Paris. Extraite dans (Poincaré, 1890b, notes IV, V).**

<sup>1</sup>Voir (§ 30.5).

<sup>2</sup>Voir le dispositif expérimental de Hertz. La bobine de Ruhmkorff est une bobine d'induction qui permet de charger les sphères. C'est une source de courant continu à potentiel élevé.

<sup>3</sup>Hertz définit l'oscillation par la demi-longueur d'onde ou la demi-période, voir (§30.4), ainsi que (Poincaré, 1894a, 46).

<sup>4</sup>Hertz n'a pas pu vérifier l'égalité des vitesses dans le fil et dans l'air. Ceci peut être mis en rapport avec la façon dont il définit la vitesse le long d'un fil présentant des sinuosités : il le fait en référence à un axe représentant la direction d'ensemble du fil et non en considérant la longueur réelle du fil. Poincaré le suit (1890–1891, II, 255–266), mais précise qu'il faut supposer le diamètre du fil très petit, ce qui n'est pas le cas ici, et alors le pas de l'hélice est à considérer. Selon J.J. Thomson (1889a), il faut tenir compte de la capacité du fil s'il n'est pas à grande distance des autres conducteurs.

## 30.7 Poincaré à Hertz

Paris, le 21 Octobre 1890<sup>c</sup>

Mon cher Collègue,

Merci de votre lettre dont la lecture m'a vivement intéressée, m'autoriseriez-vous le cas échéant, à en citer des passages dans le volume que je suis en train de publier d'après mes leçons du semestre dernier ?<sup>1</sup>

Ce que vous me dites ne fait qu'augmenter mon étonnement au sujet de la divergence entre vos résultats et ceux de M. Sarrazin. Ce qui cause cet étonnement, ce ne sont pas des raisons théoriques mais simplement ce fait que dans des conditions en apparence identiques et avec toutes les précautions imaginables, deux expérimentateurs soient arrivés à des résultats aussi différents.<sup>2</sup> Aucune des deux raisons que vous donnez dans votre lettre ne me paraît suffisante pour expliquer une divergence aussi considérable et je crois que c'est bien aussi votre opinion.

2° Venons à ce qui concerne la diminution de la vitesse de propagation dans les fils qui présentent des sinuosités. J'avais toujours compris jusqu'ici que vous aviez mesuré cette vitesse le long du fil en suivant les sinuosités ; mais d'après ce que vous me dites je comprends maintenant que vous la mesuriez *suivant l'axe de l'hélice*. Pour mieux m'expliquer je fais une figure :



J'avais cru que vous la mesuriez le long du trait plein tandis que vous la mesuriez le long du trait ponctué.

<sup>c</sup>Le manuscrit porte une annotation de main inconnue : "Abbe—Meyer—Löwenherr".

Il me semble, contrairement à votre pensée, que théoriquement c'est la vitesse le long du trait plein qui doit être égale à la vitesse de la lumière, quand même les sinuosités sont très petites par rapport à la longueur d'onde, et pourvu que le diamètre du fil soit assez petit.

Mais j'y réfléchirai :

La vitesse le long du trait plein devait se rapprocher davantage de celle de la lumière, je veux dire de celle de la propagation dans le fil tendu. Dans quelle mesure ?<sup>3</sup>

3° Parlons maintenant de la « résonance multiple » de MM. Sarrazin et de la Rive.

Il me semble que l'explication que je vous proposais dans ma dernière lettre et celle à laquelle vous aviez songé de votre côté sont absolument identiques, bien que nous nous exprimions dans des termes extrêmement différents.

Je vous remercie encore une fois de votre obligeance et je vous prie de croire à mes sentiments les plus dévoués ; si vous avez l'occasion de rencontrer M. Lipschitz, je vous prie de vouloir bien me rappeler à son souvenir,<sup>4</sup>

Poincaré

#### ALS 3p. HS 02997, Archiv, Deutsches Museum.

<sup>1</sup>La lettre de Hertz sera citée par Poincaré parmi les "récentes expériences" (1890–1891, II, 246–248).

<sup>2</sup>Plusieurs savants ont répété les expériences de Hertz : Sarasin (§ 52) et de la Rive (§ 33) à Genève, Perot (§ 46) et J. Joubert à Paris, Blondlot (§ 9) à Nancy, Bjerknæs (§ 6) à Kristiania, Lodge, G.F. FitzGerald et Trouton en Angleterre, Boltzmann et Lecher à Vienne, Hagenbach-Bischoff et Zehnder à Bâle. Les résultats obtenus par Sarasin et de la Rive montrent un fort désaccord avec ceux de Hertz pour des expériences pratiquement identiques. L'expérience porte sur les interférences entre les ondes transmises par l'air et celles réfléchies par un mur. La différence est en effet énorme, de 3 m pour la demi-longueur d'onde mesurée par Sarasin et de la Rive à 4,80 m par Hertz. Hertz explique cet écart à travers des réflexions sur les deux faces parallèles de la salle, qui compliquent l'analyse, ainsi que l'emplacement de son miroir de zinc dans une niche du mur. Mais il met en doute (1892–1895) la qualité des travaux de Sarasin et de la Rive, même si le résultat des savants suisses correspond mieux à la théorie, car les expériences de Genève ont été menées, selon lui, dans des circonstances plus défavorables que les siennes. Hertz insiste cependant sur le mérite de Sarasin et de la Rive, et note leur accord mutuel pour une répétition des expériences dans des salles plus grandes. A l'issue de ses expériences, Sarasin (§ 52.6) annonce à Poincaré la confirmation des idées de Hertz.

<sup>3</sup>Poincaré précise que l'on ne peut pas considérer la vitesse comme égale entre le fil tendu et le fil enroulé en hélice si ce dernier a un pas "trop petit pour qu'on puisse négliger devant lui le diamètre du fil" (1890–1891, II, 256).

<sup>4</sup>Rudolf Lipschitz (1832–1903) est professeur de mathématiques à l'université de Bonn.

## 30.8 Hertz à Poincaré

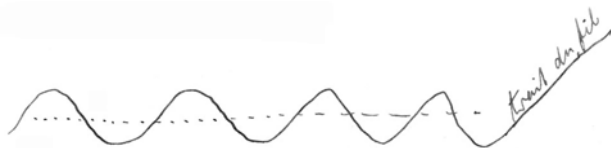
Bonn, le 26 Oct. 1890

Monsieur et cher collègue,

Certainement vous êtes autorisé de faire de ma dernière lettre l'usage qui vous semblera bon, je vous prie seulement de mettre la langue en bon ordre d'avance.<sup>1</sup> Quant à la divergence entre les résultats de Genève et les miens vous trouverez peut-être un peu ridicule que je n'aie pas répété ces expériences pour la faire disparaître. Ce sont des circonstances extérieures qui m'ont empêché, un catarrhe des yeux d'abord, puis l'organisation de mon laboratoire, à présent c'est que les locaux, dont je peux faire usage, ne sont pas libres

pendant le semestre.<sup>2</sup> Aussitôt qu'il me sera permis je les répéterai avec toute précaution, et une fois l'attention dirigée vers un certain point l'ambiguïté disparaîtra.

3) Quant à la vitesse dans un fil qui présente une sinuosité,



cette vitesse n'est pas la même que dans un fil tendu, ni si nous la comptons selon le trait plein, ni si nous la comptons selon le trait ponctué. Elle est plus grande d'après la première manière de compter, plus petite d'après la dernière. Cela est le résultat des expériences mais quel est la vitesse postulée par la théorie ?

Je m'en ferai un honneur spécial de faire parvenir vos compliments à M. Lipschitz, et je vous prie de croire aux sentiments dévoués de votre collègue<sup>3</sup>

H. Hertz

**ALS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré sollicite cette autorisation dans sa lettre du 21.10.1890 (§30.7).

<sup>2</sup>Hertz commence à se plaindre de sa santé en novembre 1889 (Hertz, 1927, XXXV).

<sup>3</sup>Rudolf Lipschitz.

## 30.9 Hertz à Poincaré

Bonn, le 19 novembre 1890

Monsieur et cher collègue,

Je vous remercie beaucoup de votre grand et beau mémoire sur le problème des trois corps, que vous m'avez eu l'obligeance de me faire parvenir.<sup>1</sup> Hélas, je vois bien que ma science et mon temps me font défaut, quand je pense à l'étudier à fond.<sup>2</sup> Je crois avoir assez de jugement pourtant, pour comprendre quelle belle victoire vous avez remportée sur ce problème, j'en avais entendu parler les mathématiciens auparavant. Me pardonneriez-vous une question, qui peut-être est fort déplacée et à laquelle vous ne répondrez pas qu'à l'occasion. Si je ne me trompe pas, les solutions périodiques sont ceux où les trois corps se meuvent dans des orbites déterminés, qu'ils parcourent périodiquement. Est-il absolument impossible que pour des cas restreints, au delà de ceux étudiés par Laplace, par exemple les trois corps étant égaux et les vitesses bien choisis, on puisse pousser la solution jusqu'à dessiner ces orbites ? De tels dessins devraient offrir un intérêt transcendant, croyez-vous qu'on en verra jamais ? Je veux dire, les difficultés inouïes, dont vous parlez dans l'introduction, se comportent-elles aussi aux solutions périodiques ou seulement au cas général ? La question vous montrera comment j'ai peu encore pénétré votre mémoire. Je n'ai pas pu jusqu'à présent faire parvenir vos saluts à M. Lipschitz, il n'est pas à Bonn dans ces semaines, étant souffrant aux nerves et ayant besoin d'un repos absolu. Agréez monsieur et cher collègue mes remerciements réitérés et l'assurance de mes sentiments dévoués.

H. Hertz

**ALS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1890c), mémoire couronné par le prix du roi Oscar II de Suède.

<sup>2</sup>Hertz n'est pas seul à trouver le mémoire de Poincaré difficile à suivre. Des mathématiciens du calibre de Karl Weierstrass (1815–1897) et Charles Hermite (1822–1901) ont du mal parfois à suivre le raisonnement de Poincaré, comme l'observe Barrow-Green (1997, 65).

## 30.10 Poincaré à Hertz

[Ca. 29.11.1890]

Mon cher Collègue,

Les orbites périodiques seraient très faciles à dessiner ; j'ajoute qu'il en serait de même de chaque orbite doublement asymptotique ; la difficulté n'existe que pour la solution générale ; mais on peut se rendre compte de la grandeur de cette difficulté en voyant comme les orbites que l'on peut tracer s'enchevêtrent les unes dans les autres d'une manière de plus en plus compliquées.

D'après M. Joubert que j'ai vu l'autre jour, on pourrait observer avec le grand exciteur et un résonateur *rectiligne* des étincelles de l'autre côté d'un mur de *zinc* de 1/2 millimètre d'épaisseur 4 mètres de haut, 8 mètres de large.<sup>1</sup> Il semble qu'on ne puisse expliquer cela que par la diffraction.<sup>2</sup> Qu'en pensez-vous ?

Vous n'avez n'est ce pas jamais rien observé de semblable.

Votre bien dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 2p. HS 02999, Archiv, Deutsches Museum.**

<sup>1</sup>Jules Joubert (1834–1910), professeur de physique au collège Rollin (Paris). A propos de la diffraction des ondes hertziennes, voir l'introduction de la correspondance entre Poincaré et Arnold Sommerfeld (§ sommerfeld).

<sup>2</sup>Poincaré reprend ce fait (1890–1891, II, 257) sans s'engager davantage dans son explication.

## 30.11 Hertz à Poincaré

Bonn, le 7 déc 1890

Monsieur et cher collègue,

Je n'ai pas encore vous remercié de votre dernière lettre. J'ai quelques remarques à ajouter à mes remerciements. D'abord quant au problème des trois corps. Je vous félicite de votre succès, mais permettez moi d'ajouter la prière pressante d'un physiciens pour tous de leur faire un peu plus accessible les résultats physiques de votre beau travail, peut-être par l'aide d'un élève. Par exemple ces diverses classes d'orbites, dont vous parler si légèrement, ont un intérêt immense, il me semble, pour l'astronomie physique, pour la physique moléculaire, etc., cependant je ne crois pas qu'il soit sur la terre un *physicien*, qui les puisse déduire de votre mémoire avec un travail raisonnable et sans revaincre

toutes les difficultés, que vous avez déjà vaincues.<sup>1</sup> Le goût du physicien est bien différent de celui du mathématicien, les cas spéciaux lui valent presque plus que les méthodes générales. Vous me pardonnez ces remarques.

2° Quant aux expériences de M. Joubert, je n'aurais pas cru certainement, qu'on pourrait observer des étincelles derrière un mur de zinc aussi haut et large.<sup>2</sup> Comme vous, je crois au premier aspect, que cette induction ne vient pas au secondaire à travers le mur, mais fait le tour du mur, par diffraction, comme vous dites. Il serait possible de le prouver, je crois, en altérant l'épaisseur du mur et par autres moyens. Je serais très étonné, quand on verrait venir ces effet à *travers* le zinc. J'ai fait des observations semblables derrière des murs de 2 à 4 mètres, mais alors la chose n'avait rien d'étonnant.

Je prends la liberté de vous adresser en même temps un petit mémoire sur les équations électrodynamiques dans les corps en mouvement.<sup>3</sup> Il reparaitra en français dans les *Acta mathematica*.<sup>4</sup>

Votre bien dévoué collègue,  
H. Hertz

#### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Poincaré (1890c). Parmi les classes d'orbites que signale Poincaré dans ce mémoire on trouve celle que Poincaré nomme "doublement asymptotique", et qu'on appellera plus tard "chaotique". Pour une analyse, voir Barrow-Green 1997.

<sup>2</sup>Joubert (1889). Voir aussi les notes de (§ 30.10).

<sup>3</sup>Hertz (1890a), publié le 19.03.1890, que Poincaré dit avoir lu (§ 30.3).

<sup>4</sup>Hertz (1891b). Poincaré a reçu une traduction française de Hertz (1890a) en septembre (§ 30.3).

## 30.12 Poincaré à Hertz

[16.12.1890]<sup>d</sup>

Mon cher Collègue,

Je tâcherai de profiter de votre conseil et d'effectuer le dessin des orbites les plus simples.<sup>1</sup> Malheureusement je suis bien mauvais dessinateur, mais je pourrai peut être trouver quelqu'un qui soit capable de m'aider.

J'ai lu avec le plus grand intérêt la brochure que vous m'avez envoyée.<sup>2</sup> N'êtes-vous pas frappé, comme je l'ai été en la lisant, de voir comme tout repose sur des pointes d'aiguilles et comme les expériences que l'on peut faire sont peu nombreuses et insuffisantes pour établir avec quelque certitude les formules admises ?

On est bien forcé de s'y tenir provisoirement, mais il est bien probable que quand les savants auront parcouru le vaste champ de recherche que vous leur avez ouvert, on sera amené à les modifier.

Votre dévoué Collègue,  
Poincaré

#### ALS 2p. HS 02999, Archiv, Deutsches Museum.

<sup>d</sup>Le manuscrit porte une annotation de main inconnue : "16 Dez 1890".

<sup>1</sup>Hertz (§ 30.11) a sollicité l'aide de Poincaré afin de comprendre les différentes classes d'orbites signalées dans le mémoire de Poincaré (1890c) sur le problème des trois corps.

<sup>2</sup>Hertz (1890a), envoyé par Hertz le 07.12.1890 (§ 30.11).

## 30.13 Hertz à Poincaré

Bonn, 31 déc. 1890

Monsieur et cher collègue,

C'est en y ajoutant mes félicitations sincères pour la nouvelle année que je vous remercie de votre dernière lettre.<sup>1</sup> J'expecte avec joie les dessins que vous promettez pour l'avenir, soyez certain que non seulement moi, mais la plupart des physiciens (j'ose même dire quantité de mathématiciens) les verront avec un extrême intérêt, qui ne seraient capable de goûter et d'apprécier à fond votre mémoire abstrait.<sup>2</sup> L'année passée m'a apporté la grande joie de cette communication personnelle avec vous, croyez à mes sentiments dévoués et d'admiration.

H. Hertz

**ALS 1p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré à Hertz, ca. 16.12.1890 (§ 30.12).

<sup>2</sup>Poincaré n'envoie peut-être pas de dessins à Hertz, mais il explique son approche dans *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* (1892–99), parfois avec un dessin.

## 30.14 Hertz à Poincaré

Bonn, 19 avril 1891

Monsieur et cher collègue,

Vous avez eu l'obligeance de me faire parvenir encore le second volume de votre bel ouvrage.<sup>1</sup> Agréer mes remerciements les plus sincères, vous croirez bien que j'ai pour ainsi dire dévoré votre volume. Mes remerciements sont un peu en retard, mais en recevant votre envoi j'étais engagé à répéter les expériences à réflexion et je désirais en attendre le résultat avant de vous écrire. Vous dites que beaucoup de personnes trouveront votre tentative prématurée. Si vous faites usage de ce résultat : que les forces électriques ont besoin du temps pour se propager et sont capables de prendre la forme d'ondulations qui ont les traits caractéristiques géométriques des ondulations de la lumière—je ne crois pas qu'on puisse dire ni qu'on dise que vous faites en cela une tentative prématurée. Mais peut-être est il vrai que vous avez pris un peu trop au grand sérieux les détails des expériences dont quelques uns certainement n'étaient que des circonstances accidentels des premiers essais. C'est du moins l'erreur dans lequel je me crois tombé moi-même, je supposais l'outil dont je faisais usage plus parfait qu'il n'était en vérité. Pour me servir d'une analogie, je croyais pouvoir comparer mon excitateur à un diapason d'acier, tandis que à la vérité il était comparable tout au plus à un diapason de bois vert, de caoutchouc ou d'un matériel semblable. Il est vrai que je supposais les vibrations amorties, mais pas

à un tel degré qu'elles le sont en vérité.<sup>2</sup> C'est naturel du reste, on ne commence pas par la perfection et heureusement les erreurs commises ne touchent pas le résultat principal, the main result. Mais à cet égard des détails je suis aussi d'avis que vous aurez à refaire ou plutôt à omettre quelques unes des parties de votre ouvrage.

Permettez-moi à présent de vous parler du résultat inattendu auquel ont abouti mes tentatives de répéter les expériences à réflexion des ondulations de grandes longueurs. La seule salle dont je pouvais faire usage, est mon auditoire de physique, une belle salle de 12 mètres de largeur et de 15 mètres de profondeur et haute de 5 à 6 mètres.

Mais malheureusement j'étais fort gêné par les bancs de l'auditoire très élevés les uns sur les autres et qui ne permettaient que des positions d'un nombre limité\* à mes miroirs de zinc de 4 mtr de hauteur et de 2 mètres de largeur. (Je faisais usage de deux miroirs cette fois, me promettant des avantages, posant l'un derrière l'excitateur, l'autre du côté du résonateur, mais j'ai aussi répété des expériences à un miroir). Malgré les bancs je disposais de distances libres de 10 mètres, je ne doutais donc pas qu'au premier coup il ne me serait possible de décider, si c'étaient Mrs Sarasin et de la Rive ou moi, qui y avaient regardé plus exactement.<sup>3</sup> Mais il arriva une autre chose inattendue, je ne réussis pas du tout à reproduire les phénomènes à ma satisfaction. Il est vrai que je voyais les traits généraux que j'avais vus auparavant et que tous les autres observateurs ont vu aussi, mais tandis que à Carlsruhe dans les nœuds le résonateur se taisait presque absolument, cette fois les nœuds étaient à peine discernables par la moindre vivacité des étincelles à tel degré, qu'il m'était impossible de dire si le premier nœud était à une distance de 4,10 m ou de 3 m du mur. D'abord j'accusais ma manque d'exercice, mais ayant tenté quatre fois et ayant pris beaucoup de peine, je crois que c'est la salle dans les positions dont je pouvais seules profiter qui est la cause, et je me suis proposé l'explication suivante : Si dans une salle de dimensions médiocres on excite des ondes d'une longueur de plusieurs mètres, il faut regarder toutes les parois de la salle comme plus ou moins réfléchissantes. Il se produira dans l'espace un système complexe de vibration, ayant des surfaces dans lesquelles l'amplitude a une valeur minimale, la distance moindre de ces surfaces sera de l'ordre de la longueur d'onde, mais ce ne sera que sous des conditions spéciales, que ces surfaces deviennent de véritables surfaces nodales et ce ne sera que dans des points spéciaux, que leur distance soit exactement égale à la longueur des ondes planes de même période. Donc : pour les ondes de petites dimensions, disons plus courtes d'un mètre on peut montrer qu'ils se propagent avec la même vitesse dans l'air et dans les fils. Pour les ondes d'une longueur de plusieurs mètres cela est difficile à prouver. Mes expériences antérieurs ne prouvent pas le contraire, les expériences de M. Sarasin et de la Rive ont conduit au résultat vraisemblable, mais je doute à présent qu'on puisse dire, que ces expériences *prouvent* ce résultat, ces physiciens ayant travaillé sous des conditions moins favorables encore que moi même. De par la théorie on peut parier mille contre un que les vitesses des ondes grandes et petites est la même et dans l'air et dans les fils.

Je trouve moi-même à redire beaucoup à cette explication, mais c'est la seule à présent que j'ai pu trouver. Pardonnez, que je vous en aie parlé avec tant de prolixité, recevez encore une fois mes remerciements empressés et agréés, monsieur et cher collègue, l'expression de mes sentiments les plus dévoués.



H. Hertz

\* Ces positions n'étaient pas symétriques par rapport aux 6 plans des parois de la salle.

**ALS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>II, Poincaré (1890–1891).

<sup>2</sup>Poincaré (1890–1891, II, 249–256, 1891c) prend comme point de départ de sa théorie de la résonance multiple l'amortissement rapide des oscillations constaté expérimentalement par Sarasin et de la Rive.

<sup>3</sup>Édouard Sarasin (§ 52) et Lucien de la Rive (§ 33).

## 30.15 Hertz à Poincaré

Bonn, décembre 30. 1891.

Monsieur et cher collègue,

Je viens vous porter mes meilleurs vœux pour la nouvelle année, vous remercier de votre „*Thermodynamique*“, que vous m'avez fait adresser, enfin vous prier de me conserver votre amitié, à laquelle j'attribue une valeur, que vous ne sauriez jamais surestimer.<sup>1</sup> Dans votre livre j'ai été charmé surtout de vos expositions philosophiques qui vont au fond, qui sont essentielles, et qui traitent des questions qu'on trouve rarement abordées dans les ouvrages.<sup>e</sup> Je n'ai pas été moins charmé du sentiment profond de justice et d'impartialité, avec lequel vous cherchez à donner son mérite à chacun, plus incliné à vous heurter vous-même qu'à heurter les autres. Tout ce que je lis de vous ne fait qu'augmenter l'estime que j'éprouve pour vous. Quand je vous prie de me conserver votre amitié je suis bien au sérieux, je ne crois pas nécessaire pour cela que la correspondance soit plus fréquente, mais j'espère que vous m'écrirez tout de suite, si jamais j'aurais le malheur de vous offenser, afin que je puisse faire amende. Je viens tout à l'heure de recevoir la nouvelle que l'académie de Turin m'a accordé le grand prix de Bressia.<sup>2</sup> J'ai toujours peur que ces récompenses trop grandes ne puissent m'égarer les bons sentiments de mes collègues. Soyez assuré, que ces sentiments me sont plus chers que les prix, et que je ne m'accorderais pas ces prix si j'avais à les conférer. En terminant, je vous répète mes remerciements et mes félicitations pour la nouvelle année. Agréez, monsieur et cher collègue l'assurance de mon amitié et de ma considération la plus distinguée.

H. Hertz

**ALS 3p. Collection particulière.**

<sup>1</sup>Poincaré (1892i).

<sup>2</sup>Hertz a été prévenu par télégramme le 27 décembre. Le prix Bressa, attribué par l'Académie royale des Sciences de Turin "à pour but de récompenser le savant ou l'inventeur, à quelque nation qu'il appartienne, lequel ... aura fait la découverte la plus éclatante et la plus utile, ou qui aura produit l'Ouvrage le plus célèbre en fait de Sciences physiques et expérimentales, Histoire naturelle, Mathématiques pures et appliquées, Chimie, Physiologie et Pathologie, sans exclure la Géologie, la Géographie et la Statistique." Le septième prix Bressa fut attribué lors de la séance du 20.12.1891 à Joseph Bertrand (calcul des probabilités), Ernst Haeckel (mémoire sur les radiolaires), Sophus Lie (théorie des groupes de transformation), et à Hertz, pour ses mémoires sur la transmission des actions électriques (*Atti della R. Acc. di Torino* 27, 231).

<sup>e</sup>Variante :“... qui sont essentielles, et qu'on trouve rarement abordées dans la physique les ouvrages.”

# Chapitre 31

## Arthur Korn

Originaire de la ville de Breslau (Wrocław, Poland), Arthur Korn (1870–1945) étudie avec Gustav Wiedemann et Carl Neumann à Leipzig, où il soutient sa thèse de physique mathématique à l'âge de vingt ans. Il continue ses études d'abord à Paris, où il suit le cours d'Émile Picard, ainsi que les leçons sur la théorie de l'élasticité de Poincaré (1892h). Korn étudie également à Berlin, Würzburg et Londres. A partir de 1895, il enseigne la physique théorique en tant que Privatdozent à l'Université de Munich, suite au départ de Ludwig Boltzmann. Korn reste à Munich jusqu'en 1908, lorsque Arnold Sommerfeld succède à Boltzmann.<sup>1</sup> Il peine à trouver un autre poste d'enseignement; c'est alors qu'il perfectionne sa technique de transmission télégraphique d'images, appelée *Bildtelegraphie*. En 1903, à l'invitation de l'Académie des sciences, Korn présente cette technique devant Poincaré et ses confrères à Paris.<sup>2</sup>

Korn rédige un traité sur la théorie du potentiel (1899), et publie fréquemment sur ce sujet et sur la théorie de l'élasticité dans les *Comptes rendus*. En 1907, il partage avec Jacques Hadamard et Tommaso Boggio le prix Vaillant de l'Académie des sciences, pour son étude sur l'équilibre des plaques élastiques encastées.<sup>3</sup>

Dans le domaine de la physique théorique, Korn développe une théorie de la gravitation à base de sphères pulsantes plongées dans un éther fluide et incompressible. Les modes intrinsèques de vibration (ainsi que des conditions de bord particulières pour les surfaces de contact) devaient expliquer la gravitation, la loi maxwellienne de distribution de vitesses dans la théorie cinétique des gaz, et les lois des phénomènes capillaires.<sup>4</sup> La théorie de Korn est présentée par Poincaré lors de son cours à la Sorbonne en 1906–1907 (1953, 257–265).

Lorsque la théorie de la relativité voit le jour en 1905, Korn adopte une attitude sceptique, comme la plupart des théoriciens. Vers la fin de 1907, il croit que la relativité doit bientôt disparaître de la scène (Jungnickel et McCormach, 1986, II, 247). Korn se retrouve en 1911 face à une théorie de la relativité comprise par ses collègues théoriciens comme définitivement acquise. Il reste aux théoriciens la refonte de toutes les branches de la physique sur de nouvelles bases relativistes. Une des deux lettres de Korn à Poincaré se situe dans ce cadre; elle accompagne une note à l'Académie des sciences dans laquelle il

est question de l'électrodynamique des milieux en mouvement, que Korn veut expliquer à travers l'interaction des ses sphères pulsantes.

A la mort de Poincaré, Korn fait hommage à son ancien maître, en soulignant sa maîtrise de toutes les branches des mathématiques, et l'influence de ses leçons de physique mathématique. On pourrait chercher dans tous les pays, Korn écrit (1912, 10), mais il serait difficile de trouver un physicien qui n'aurait pas bénéficié, d'une façon directe ou indirecte, par la publication de ses leçons.

En 1914, la Technische Hochschule de Berlin engage Korn en tant que professeur associé.<sup>5</sup> Korn enseigne à Berlin pendant un quart de siècle ; dans les années 1920 et 1930 il travaille sur des questions techniques dans l'industrie émergente de la télévision. Suite à l'accession au pouvoir d'Adolf Hitler en 1933, Korn quitte Allemagne pour la Mexique et les États-Unis d'Amérique.<sup>6</sup>

#### Notes

<sup>1</sup>Eckert et Pricha (1984) ; Jungnickel et McCormach (1986, II, 158, 280).

<sup>2</sup>Korn (1903b), T. Korn et E. Korn (1950, 107).

<sup>3</sup>*Comptes rendus* 145 (1907), 983. Le rapport est rédigé par Émile Picard (1907).

<sup>4</sup>Korn (1896–1898), à propos duquel voir Whittaker (1951–1953, I, 285), North (1965, 34).

<sup>5</sup>*Physikalische Zeitschrift* 15, 648.

<sup>6</sup>Sur la vie de A. Korn voir T. Korn et E. Korn (1950), Lorey (1916, 340, note 2), Volz (1930–1931, I, 992–993), et Weiher (1980, 588).

## 31.1 Poincaré à Korn

[Ca. 01.1902]

Mon cher Collègue,

Je continue à ne pas comprendre ; les fonctions  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$  sont naturellement supposées linéairement indépendantes.<sup>1</sup>

Dans ces conditions il ne peut y avoir de cas d'exception et on ne peut avoir ni

$$\frac{\varphi_i}{\beta_i} = \frac{\varphi_\kappa}{\beta_\kappa}$$

ni

$$\int \sum \left( \frac{d \Sigma \alpha \varphi}{dx} \right)^2 d\tau = 0.$$

Veuillez agréer l'assurance de mes sentiments dévoués,  
Poincaré

**ALS 2p. Arthur Korn Correspondence, Rare Book and Manuscript Library, Columbia University.**

<sup>1</sup>Korn (1902) considère une infinité de potentiels  $\varphi$  de la vibration de sphères, qui satisfont à certaines conditions. Ces potentiels donnent lieu, selon lui, à "une infinité de vibrations universelles de la matière ponderable". Korn n'en fournit pas la démonstration, mais sa note affirme qu'elle peut être faite "en s'inspirant de la méthode imaginée par M. Poincaré pour le problème classique dans lequel on a

$$\begin{aligned} & \varphi = 0 \quad (\text{sur une surface } \mathcal{S}) \\ \text{et } & \Delta\varphi + k^2\varphi = 0 \quad (\text{à l'intérieur}).'' \end{aligned}$$

Le manuscrit de Korn aux archives de l'Académie des sciences montre que cette remarque est un rajout de Picard, qui présente la note à l'Académie des sciences le 06.01.1902. La lettre de Poincaré concerne peut-être cette démonstration, ou une autre en rapport avec ce que Korn (1903a) appelle les "fonctions universelles", analogues aux fonctions harmoniques de Poincaré (1894c).

## 31.2 Korn à Poincaré

Berlin-Wilmersdorf, le 2/II 1911  
Guentzelstrasse 3.

Cher Maître,

La Note ci-jointe que je vous prie de présenter à l'Académie des Sciences renferme les conclusions auxquelles je suis parvenu après vingt ans de travail sur les explications possibles des phénomènes électriques.<sup>1</sup>

En posant les  $\mathcal{X}$ ,  $\mathcal{Y}$ ,  $\mathcal{Z}$  proportionnels aux  $u_1$ ,  $v_1$ ,  $w_1$ , les  $\mathcal{L}$ ,  $\mathcal{M}$ ,  $\mathcal{N}$  proportionnels aux  $u_2$ ,  $v_2$ ,  $w_2$ , je n'arrive pas seulement avec ces hypothèses aux forces pondéromotrices avec le signe exact, mais aussi aux équations

$$\begin{aligned} & \frac{\partial L}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} (v_0 \mathcal{L} - u_0 \mathcal{M}) - \frac{\partial}{\partial z} (u_0 \mathcal{N} - w_0 \mathcal{L}) \\ & = -\frac{1}{c} \left( \frac{\partial \mathcal{Z}}{\partial y} - \frac{\partial \mathcal{Y}}{\partial z} \right) \dots \frac{\partial \mathcal{X}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} (v_0 \mathcal{X} - u_0 \mathcal{Y}) - \frac{\partial}{\partial z} (u_0 \mathcal{Z} - w_0 \mathcal{X}) \\ & = +\frac{1}{c} \left( \frac{\partial \mathcal{N}}{\partial y} - \frac{\partial \mathcal{M}}{\partial z} \right) - u_0 \left( \frac{\partial \mathcal{X}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{Y}}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{Z}}{\partial z} \right), \dots \end{aligned}$$

qui permettent, aussi bien que les équations de Lorentz et Minkowsky, de rendre compte de tous les phénomènes électromagnétiques.<sup>2</sup>

Comme se serait ma 25<sup>e</sup> Note présentée à l'Académie, si vous avez l'amabilité de présenter celle-ci, j'ai pensée ne pouvoir mieux faire pour ce petit jubilé que de condenser mes idées mécaniques dans cette petite Note.

Je ferai suivre à l'avenir des travaux plus explicites.<sup>3</sup>

Veuillez agréer, cher Maître, l'expression de ma plus haute considération et de ma grande reconnaissance.

Votre bien dévoué,

A. Korn

### ALS 3p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Korn (1911a), note présentée par Poincaré à l'Académie des sciences le 06.02.1911. Korn cherche une explication mécanique des phénomènes électromagnétiques des corps en mouvement, à partir des sphères électrisées plongées dans un fluide universel. Il revendique pour ses équations un pouvoir d'explication équivalent à ceux des équations de H.A. Lorentz (§ 38) et de H. Minkowski. Alors que la note de Korn ne mentionne ni Lorentz ni Minkowski, l'article qu'il présente à la société allemande de physique (§911b) affirme l'accord entre sa théorie et le principe de relativité.

<sup>2</sup>Hermann Minkowski (1864–1909) fut professeur de mathématiques pures à la Georg-August-Universität de Göttingen, et l'inventeur du concept de l'espace-temps (1908).

<sup>3</sup>Korn ne publiera plus sur les phénomènes électromagnétiques dans les *Comptes rendus*.

## Chapitre 32

# Paul Langevin

Paul Langevin (1872–1946) fait ses études à partir de 1898 à l'École supérieure de physique et chimie industrielle de la Ville de Paris, où il suit les cours de Pierre Curie (§ 19), et à partir de 1891 à la Sorbonne. Il est le premier admis au concours de l'École normale supérieure en 1893, où il entre après un an de service militaire. A la Sorbonne Langevin suit les cours de Poincaré sur les oscillations hertziennes (1892–1893) et sur l'élasticité ; parmi ses professeurs sont aussi Marcel Brillouin (§ 12), Désiré Gernez, Émile Picard, Camille Jordan, Charles Hermite, et Jules Tannery. Il est boursier de la Ville de Paris en 1897–1898 au laboratoire Cavendish à l'université de Cambridge, où il suit les cours de J.J. Thomson, Joseph Larmor, J.W. Strutt, et George Greenhill. Quand il rentre à Paris, Langevin est engagé comme agrégé préparateur dans le laboratoire d'Edmond Bouty, jusqu'en 1903. A la fin de 1902, Langevin soutient sa thèse sur un sujet trouvé au Cavendish : la recombinaison et la mobilité des ions gazeux (1903a; 1903b).

Le 29 mars 1903, Poincaré invite Langevin à dîner chez lui (§ 32.1), avec un certain Monsieur Klein, qui est, peut-être, Félix Klein, professeur de mathématiques à la Georg-August-Universität de Göttingen, et éditeur du volume de mécanique de l'*Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Anschluss ihrer Anwendungen*, un vaste projet d'édition dont il est l'un des fondateurs. Une version française est réalisée en partie, avant que la guerre de 1914–1918 ne coupe court les collaborations scientifiques franco-allemandes.<sup>1</sup> Poincaré connaît Klein depuis plus de vingt ans ; il favorise les collaborations internationales, et doit collaborer à la version française de l'*Encyklopädie*.<sup>2</sup> Quant à Langevin, il favorise également les collaborations internationales, et suite au décès d'Alfred Potier (§ 48), sera co-éditeur avec Jean Perrin du volume de physique de la version française de l'*Encyklopädie*.

La même année, Langevin devient le suppléant d'Élie Mascart (§ 39) dans la chaire de physique générale et expérimentale au Collège de France (après avoir été son remplaçant en 1902). En septembre 1904, Poincaré et Langevin voyagent ensemble aux États-Unis, en tant que membres de la délégation française au congrès scientifique de l'exposition internationale de Saint-Louis.<sup>3</sup> Il publie alors une théorie de l'électron, qui est compatible

avec l'image électromagnétique du monde, ainsi qu'une théorie du paramagnétisme. Langevin succède à Pierre Curie comme professeur à l'École de physique et de chimie industrielle de la Ville de Paris en 1905, où il devient directeur des études en 1909. La même année, suite au décès de Mascart, Langevin devient titulaire au Collège de France, où il fera le premier cours en France sur l'espace-temps de Minkowski, en 1910–1911.<sup>4</sup> Il participe au premier Conseil Solvay (§ 53) avec Poincaré, Einstein, Marie Curie et d'autres en octobre 1911, et publie les actes (avec Maurice de Broglie). Il est également membre des quatre prochains Conseils Solvay, et suite au décès de H.A. Lorentz (§ 38) en 1928, il devient président du comité scientifique de l'Institut international de physique Solvay. Un intellectuel engagé, progressiste et humaniste, Langevin est vice-président de l'Union rationaliste, président en 1936 du Comité mondial de lutte contre la guerre et le fascisme, et membre de la Ligue des droits de l'homme, activités qui mènent à son arrestation par la Gestapo en 1940, et puis son assignation en résidence surveillée. Paul Langevin meurt en 1946, et est inhumé au Panthéon en 1948.<sup>5</sup>

## Notes

<sup>1</sup>Pour une comparaison des deux versions de l'encyclopédie des sciences mathématiques, voir Gispert (2001).

<sup>2</sup>Boutroux et al. (1914, 263). Poincaré a eu l'intention de contribuer un article à *l'Encyclopédie*, comme l'indique une lettre de Jules Molik de 12.12.1901 (correspondance, vol. 4), mais il n'y publie rien.

<sup>3</sup>Langevin décrit à son épouse la visite qu'il a fait avec Poincaré à une raffinerie d'acier, et à leur réception à la Maison Blanche par Theodore Roosevelt (fonds Langevin, carton 3, École de physique et de chimie industrielle).

<sup>4</sup>Voir les notes manuscrites de Léon Brillouin, Léon Brillouin papers, Box 7, folder 8, Niels Bohr Library, Center for History of Physics.

<sup>5</sup>Sur la vie et les travaux de Langevin, voir le *DSB*, Bensaude-Vincent (1987), *Épistémologiques* (Paris/São Paolo), 2/1–2 (2002), et Bustamante et Kounelis (2005). Voir aussi l'appréciation par Langevin (1913) de la physique de Poincaré.

## 32.1 Poincaré à Langevin

[26.03.1903]<sup>a</sup>

Mon cher Collègue,  
 Pourriez-vous nous faire le plaisir de venir dîner chez nous le jeudi 29 à 7 h 1/2 avec M Klein.<sup>1</sup>  
 En reedingote  
 Votre bien dévoué Collègue,  
 Poincaré

### ALS 1p. Archives Langevin 87 :60.

<sup>1</sup>Il s'agit peut-être de Félix Klein, professeur de mathématiques à la Georg-August-Universität de Göttingen.

<sup>a</sup>L'enveloppe porte un cachet postal du 26.03.1903.

## Chapitre 33

# Lucien de la Rive

Lucien de la Rive (1834–1924), fils du physicien genevois Auguste de la Rive (1808–1873), étudie à l'Académie de Genève, et à la Sorbonne, où il suit le cours de Gabriel Lamé en 1854. Traducteur de Tennyson et de Longfellow, de la Rive est un chercheur indépendant alors qu'au début des années 1890 il se lance avec son ami Édouard Sarasin (§ 52) dans l'investigation des propriétés des ondes électromagnétiques découvertes par Hertz (§ 30). C'est dans le contexte de ces recherches qu'a lieu un échange de lettres avec Poincaré. Dans les locaux de la société pour la construction des instruments de physique et de mécanique, les deux physiciens montrent que les perturbations électromagnétiques se propagent dans l'air avec la vitesse de la lumière, comme J.C. Maxwell l'avait prévu (Speziali, 1997).

Au début du vingtième siècle, de la Rive analyse des articles sur la théorie des électrons et la théorie de la relativité pour les lecteurs des *Archives de Genève*, et à la mort de Poincaré, il écrit une notice sur sa carrière (1914a; 1914b).

### 33.1 De la Rive à Poincaré

10 Avril 1892  
Menton villa Navoni

Mon cher collègue,

Puis-je vous demander si dans votre *Électricité et Optique*, au paragraphe *Distribution électrique* T. I, p. 33, ce résumé des équations différentielles du potentiel  $\Psi$  exprime votre manière de voir.<sup>1</sup>

En particulier l'Éq.

$$\frac{d}{dx}K \cdot \frac{d\Psi}{dx} + \text{cte} = 0$$

qui devient  $\Delta\Psi = 0$ , si  $K$  est constante, peut-elle être conservée dans la théorie de la polarisation du diélectrique isotrope ?<sup>2</sup> Il est difficile de trouver dans le traité de Maxwell un passage sur lequel s'appuyer pour établir à cet égard sa théorie électrostatique. D'autre



part si cette équation n'est pas satisfaite et si la polarisation du diélectrique donne lieu à une densité de volume, il me semble (peut-être fais-je erreur) que la répartition de la densité superficielle sur les conducteurs doit dépendre de  $K$  autrement que ne l'implique la théorie de Maxwell.

La théorie de la polarisation d'Helmholtz semble donner lieu à une difficulté relative à la valeur de la *pression électrostatique* qui est proportionnelle à  $K^2$  et non à  $K$ , puisque dans cette théorie la densité superficielle est bien

$$\sigma = -\frac{1}{4\pi} K \frac{d\varphi}{dn}$$

sur le conducteur, et que la tension est  $2\pi\sigma^2$ , sans qu'on doive diviser par  $K$ , comme l'admet Maxwell.<sup>3</sup>

J'ai montré, dans le travail que je me permets de vous adresser, comment on peut substituer, dans le cas du condensateur plan, le flux et la quantité de mouvement de la force électromotrice.

En appliquant les formules de Maxwell à ce cas particulier, il est difficile de ne pas constater ce que sa théorie laisse à désirer au point de vue mécanique. Le fait est qu'il n'est nulle part fait mention d'une action ou réaction mécanique de l'agent impondérable sur la matière pondérable, et que cependant c'est sur cette dernière que les effets mécaniques sont produits.

Pour en revenir au point sur lequel je serais très désireux de connaître votre manière de voir. (l'Éq.  $\Delta\Psi = 0$  est-elle compatible avec la théorie de la polarisation du diélectrique?) Il me semble que le chapitre V, T. II *Électricité et Optique*, est contraire à cette hypothèse, mais  $\varphi$  y est défini par des équations dont la forme est relative à un aimant, et non à des surfaces de conducteurs électrostatiques.

Dans le cas où en effet l'hypothèse de la polarisation donne lieu à une distribution différente de celle dans l'air (le vide), ne pourrait-on pas vérifier expérimentalement qu'il en est bien ainsi.

Je serais heureux de savoir si la note que j'ai un peu modifiée dans le sens indiqué par M. Bertrand lui a paru satisfaisante.<sup>4</sup>

Veillez, mon cher collègue, recevoir l'expression de mes sentiments très empressés.

L. de la Rive

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Poincaré (1890–1891, I, 33).

<sup>2</sup>Le symbole  $\psi$  représente le potentiel électrostatique, et  $K$  le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique. L'équation de Poincaré exprime la continuité de la fonction potentiel ainsi que celle de ses dérivées dans toute l'étendue du diélectrique.

<sup>3</sup>Poincaré (1890–1891, II, 83–113).

<sup>4</sup>Joseph Bertrand (1822–1900) est professeur de physique générale et mathématique au Collège de France, et depuis 1874, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. De la Rive (1892) offre une nouvelle démonstration d'un théorème de Bertrand (1890, 42–44). Sa note est présentée à l'Académie des sciences le 28.03.1892.

## 33.2 De la Rive à Poincaré

3 Septembre 1892

CHOULEX, CANTON DE GENÈVE

Mon cher collègue,

M. Charles Soret, prof. de phys. à l'université de Genève va publier un travail théorique élémentaire sur la polarisation des diélectriques.<sup>1</sup> En traitant la question des pressions électrostatiques, M. Soret est amené à constater la différence des résultats obtenus suivant que l'on envisage la force ou le travail, et il adopte cette dernière valeur en se fondant sur la théorie d'Helmholtz. Comme j'ai eu l'occasion de lui parler de votre opinion sur ce point, il serait très désireux de la citer. Voici textuellement ce que vous avez bien voulu m'écrire au mois d'Avril dernier.<sup>2</sup>

« Je sais qu'on rencontre une difficulté quand on veut étudier les attractions de deux conducteurs électrisés plongés dans un diélectrique. Le résultat auquel on parvient n'est pas le même, suivant qu'on part de l'évaluation du travail ou de la pression électrostatique. C'est la première évaluation qu'il faut prendre, parce que à la pression électrostatique il faut ajouter les réactions des particules du diélectrique polarisées électriquement. Je n'ai dit qu'un mot à ce sujet dans le T. II. ; cette question mériterait peut-être quelque développement. »

Autorisez-vous M. Soret à citer ces lignes ?<sup>3</sup> Inutile d'ajouter que si vous étiez disposé à formuler votre manière de voir d'une manière plus précise, il vous serait très reconnaissant de pouvoir ainsi appuyer ses propres conclusions.

Le résultat des recherches expérimentales que nous continuons, M. Sarasin et moi, confirme le fait que les interférences de la force électromotrice dans l'air, par réflexion sur un rideau métallique, donnent exclusivement la longueur d'onde propre au résonateur employé, et que celle-ci est la même que le long des fils métalliques.<sup>4</sup>

Quant au *vibrateur*, nous venons de faire des essais satisfaisants en faisant jaillir l'étincelle dans un diélectrique liquide (huile d'olive) au lieu de l'air. Nous obtenons ainsi une tension initiale de la capacité plus considérable, et les étincelles du résonateur sont notablement plus brillantes et continues.

Bien que votre analyse du résonateur soit favorable à l'opinion de Hertz, que le vibreur n'a qu'une seule longueur d'onde, les résultats expérimentaux sont à cet égard peu concluants. En effet la résonance, si elle existe, est très vague, du moins aux grandes distances, 9 ou 10 mètres du vibreur. De près, on comprend que la distance entre les capacités rend l'action électrostatique plus ou moins bien répartie pour actionner tel ou tel résonateur. Mais hors du champ électrostatique il ne paraît pas en être de même. Aussi le vibreur à sphères de 30 cm de diamètre, avec un écartement total des centres des sphères de 80 cm, agit à peu près de la même manière que si l'écartement est de 0,50 cm sur un résonateur de 0,35 cm de diamètre. Faut-il en conclure que l'on doit tenir compte de la période des sphères elles-mêmes. Dans le calcul du vibreur tel que vous le donnez T. II p. 153 le point du fil considéré est supposé à une distance des capacités assez grande pour que  $V_1$  et  $V_2$  soient constants. Cette question me semble importante pour l'étude des

oscillations électriques. En la reprenant de plus près, vous rendriez un grand service aux physiciens.<sup>5</sup>

Veillez, mon cher collègue, recevoir l'expression de mes sentiments très empressés.

Lucien de la Rive

**ALS 4p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Charles Soret (1854–1904) est professeur de physique à l'université de Genève depuis 1888.

<sup>2</sup>La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée.

<sup>3</sup>Soret (1892, 349) cite ces mêmes lignes.

<sup>4</sup>De la Rive confirme ici les résultats de l'année 1890 où, avec Sarasin, il mit en évidence ce phénomène qu'ils appelèrent résonance multiple.

<sup>5</sup>Poincaré reprendra son calcul dans (1901a, § 285).

## Chapitre 34

# Joseph Larmor

Joseph Larmor (1857–1942) fait ses études à la *Royal Belfast Academical Institution* et *Queen's College*, Galway, et à St. John's College, Cambridge, d'où il sort *senior wrangler* en 1880. Il enseigne cinq ans à Queen's College Galway, en tant que *Professor of Natural Philosophy*, avant de revenir à St. John's comme *Lecturer*. Il est membre du conseil de la société mathématique de Londres entre 1887 et 1912, et en 1892 il est élu *Fellow* de la société royale. A la mort de Stokes, il devient *Lucasian Professor* à Cambridge en 1903.<sup>1</sup> Larmor est surtout connu pour sa théorie électronique de la matière, dont les prémisses sont publiées avant la découverte de l'électron en 1897 par le *second wrangler* de 1880, J.J. Thomson. Dès 1897 il conçoit qu'une électron en orbite éprouve un dilatation du temps, et il applique des transformations équivalentes à ce que Poincaré appellera en 1905 les "transformations de Lorentz", dans son livre *Aether and Matter*, couronné par le prix Adams (1900). Comme le montre Warwick (2003, 370), ses travaux convainquent les théoriciens britanniques de la pertinence physique de la contraction de Lorentz-FitzGerald. Mais son livre se lit difficilement, et sa théorie est rarement abordée en dehors du Royaume-Uni.

Quand les expériences de V. Crémieu mettent en doute l'existence de l'effet Rowland, la théorie de Larmor est visée autant que celles de H.A. Lorentz et de J.C. Maxwell. Le soutien de Poincaré fut reconnu par Crémieu dès 1900, et on peut supposer que c'est à ce titre que Larmor lui écrit, dans une lettre que nous n'avons pas retrouvée, mais qui devait avoir pour but d'informer Poincaré des efforts des britanniques afin de mettre en évidence l'effet Rowland. C'est à la suite de cette lettre que Poincaré demande des renseignements à Larmor.<sup>2</sup>

Au-delà de cet échange, Poincaré présente la théorie de Larmor dans son cours de 1899 (1901a), et Larmor commente la philosophie des sciences de Poincaré dans sa préface à la traduction anglaise de *La Science et l'hypothèse* (1905c).

### Notes

<sup>1</sup> Sur la carrière de Larmor voir le *DSB*, Eddington (1942), et Warwick (2003, chap. 7).

<sup>2</sup> A propos des expériences de Crémieu, voir (§17) ; sur les contributions de Larmor à la théorie de l'électron, voir Buchwald (1985), Darrigol (1994), et Warwick (op. cit.).

## 34.1 Poincaré à Larmor

[Ca. 08.1901]

Mon cher collègue,

Vous m'avez écrit il y a quelque temps qu'on était en train de reprendre les expériences de Crémieu à Cambridge et à Glasgow.<sup>1</sup> Pourriez-vous me donner quelques détails à ce sujet? Quelle est la méthode employée? A-t-on déjà obtenu des résultats? Ont-ils confirmé ceux de Crémieu?<sup>2</sup>

Pardon de vous importuner de la sorte mais le sujet m'intéresse beaucoup.<sup>3</sup>

Votre bien dévoué collègue.

Poincaré

**ALS 2p. LM 1596, Royal Society Library, by permission of President and Council of the Royal Society.**

<sup>1</sup>La lettre de Larmor à Poincaré n'a pas été retrouvée.

<sup>2</sup>Andrew Gray à Glasgow et Arthur Schuster à Manchester ont mené des expériences afin de comprendre celles de Crémieu, sans parvenir à des résultats concrets, comme le note Indorato et Masotto (1989, 138). Vraisemblablement, Poincaré interroge Larmor à ce sujet, à la veille de la réunion de la *British Association for the Advancement of Science* à Glasgow en septembre 1901.

<sup>3</sup>Aucune réponse de Larmor à Poincaré n'a été retrouvée, mais Poincaré affirme dans sa lettre à Crémieu (§ 17.9) que Gray ne publiera pas les résultats de son expérience sur la convection, et Larmor aurait pu le renseigner à ce sujet.

## Chapitre 35

# Gustave Le Bon

Gustave Le Bon (1841–1931) fait des études de médecine à Paris, avant de s'intéresser à la technologie médicale. Il publie des ouvrages portant sur l'hygiène, l'anthropologie, la photographie, et un livre influent sur la psychologie des foules (1895).<sup>1</sup> Le Bon entreprend, à partir de 1896, des expériences de physique, sans avoir reçu une formation dans ce domaine. Pendant dix ans, Le Bon s'intéresse, avec l'aide d'un assistant, aux phénomènes de rayonnement, menant des expériences dans son laboratoire privé, mais aussi dans des laboratoires industriels, et dans le laboratoire de Bouty à la Sorbonne. En tant qu'amateur, Le Bon s'intègre mal dans la communauté physique française de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, comme l'observe Mary-Jo Nye (1974).

En 1896, peu après la découverte des rayons X par Röntgen, et peu avant la découverte par Henri Becquerel (§ 4) de la radioactivité des sels d'urane, Le Bon dévoile un nouveau type de rayonnement. Selon Le Bon, une source lumineuse quelconque émet ce qu'il appelle (1896a) de la "lumière noire", capable de pénétrer des métaux, mais incapable de pénétrer du papier noir.

Le Bon publie ses recherches dans un hebdomadaire scientifique, la *Revue scientifique*, où son nom est déjà connu au grand public. À l'Académie des sciences, Arsène d'Arsonval, un membre de la section de médecine et chirurgie présente les premières notes de Le Bon, mais Poincaré s'y intéresse, et il est le premier à évoquer les "rayons Le Bon" (1897c, 80), sans se prononcer sur leur réalité.

Malgré le scepticisme affiché par Henri Becquerel et les frères Lumière par rapport aux résultats expérimentaux de Le Bon, dont ce dernier se plaint (1905, 27 et 1908), Poincaré communique trois de ses notes à l'Académie des sciences en 1899 et 1900, et une autre en 1906.<sup>2</sup> La note publiée le 02.04.1900 fait l'objet d'une réclamation de priorité de la part de Pierre Curie (1900), dans laquelle il observe que les résultats communiqués par Le Bon se trouvaient dans les publications de Friedrich Giesel, Henri Becquerel, Marie Curie (§ 18) et lui-même (§ 19). Curie profite de l'occasion pour affirmer que la lumière noire de Le Bon n'est autre que de la lumière infrarouge, ce que Le Bon conteste peu après (1900a).

Suite à la note de Pierre Curie, Poincaré ne communique plus de résultats expérimentaux

de Le Bon à l'Académie des sciences ; d'autres académiciens s'en chargent. Les idées iconoclastes de Le Bon sur la matière et le rayonnement sont largement diffusées, suite au succès de son livre *L'évolution de la matière* (1905), qui est traduit en anglais (1907). Après dix ans de recherches, Le Bon n'attire plus que du mépris de la communauté physique française, et il met fin à ses expériences.

Poincaré et son cousin Raymond participe souvent aux déjeuners organisés depuis 1892 par Le Bon et Théodule Ribot, professeur de psychologie expérimentale au Collège de France (R. Nye, 1969, 26). A travers ces rencontres, auxquels sont conviés des hommes politiques, scientifiques, hommes d'affaires, aristocrates, militaires, diplomates, hommes de lettres, journalistes, et universitaires, Le Bon tisse des liens extensifs. Il exploite ce vaste réseau de connaissances en tant que fondateur d'une collection chez Ernest Flammarion, la *Bibliothèque de philosophie scientifique*.<sup>3</sup> A l'incitation de Le Bon, Poincaré publie dans cette collection quelques articles philosophiques, sous un titre fourni par Le Bon : *La science et l'hypothèse* (1902d).<sup>4</sup>

La correspondance entre Poincaré et Le Bon comprend vingt-cinq lettres, dont vingt-et-une de Poincaré, rédigées entre 1896 et 1911. L'échange le plus riche concerne les recherches menées par Le Bon en 1899, qui font l'objet des notes communiquées par Poincaré à l'Académie des sciences. Cet échange comprend une page extraite du cahier de laboratoire de Le Bon (§ 35.10).

Au début des années 1970, les lettres de Poincaré à Le Bon font partie d'une collection particulière à Paris, que M.-J. Nye a consulté. En 1998, la société des amis de Gustave Le Bon nous a communiqué des numérisations de neuf lettres de Poincaré à Le Bon, dont sept correspondent aux transcriptions de Nye. Il reste huit transcriptions pour lesquelles nous n'avons pu consulter un manuscrit ou fac-similé. Faute de pouvoir établir de fidèles transcriptions de ces huit lettres, nous avons fait des résumés, à partir des notes de M.-J. Nye.

#### Notes

<sup>1</sup> Sur les contributions de Le Bon en sciences sociales, voir Robert Nye (1969) et Benoît Marpeau (2000).

<sup>2</sup> Le Bon (1899b,a, 1900b, 1906).

<sup>3</sup> Sur la pensée politique de Le Bon, voir Rouvier (1986).

<sup>4</sup> Sur l'édition des livres de Poincaré voir Rollet (2001).

## 35.1 Poincaré à Le Bon

[Ca. 27.01.1896]

Cher Monsieur,

Le récit de vos expériences m'a vivement intéressé ; nous en reparlerons car j'espère pouvoir assister au Banquet.<sup>1</sup>

Votre tout dévoué,

Poincaré

**ALS 1p. Société des amis de Gustave Le Bon.**

<sup>1</sup>Il s'agit peut-être d'une note de Le Bon (1896b) présentée par A. d'Arsonval à l'Académie des sciences le 27.01.1896. Poincaré n'assistera pas au banquet du mercredi 29 janvier (§35.2).

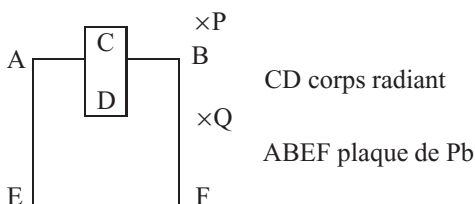
## 35.2 Poincaré à Le Bon

[Ca. 28.01.1896]

*Résumé d'après les notes prises par by M.-J. Nye d'une ALS 1p (Nye 34, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré regrette de ne pas pouvoir assister au prochain banquet.<sup>1</sup> Il ne voit pas d'explication de l'expérience de Le Bon, si ce n'est une diffusion par l'air. Il veut savoir si l'expérience réussit avec un métal ordinaire, si le métal a été préalablement décapé, et la durée de la pose.<sup>2</sup>

Il lui semble qu'il faudrait vérifier si la présence du plomb influence le rayonnement produit en dehors ; et cela d'une manière frappante. Il suggère à Le Bon de faire dépasser un peu du corps radiant sur la plaque en plomb, et lui fait un dessin :



De cette façon, selon Poincaré, on peut comparer l'intensité en  $P$  et en  $Q$ .

### Notes

<sup>1</sup>Il s'agit des déjeuners du mercredi organisés par G. Le Bon et Th. Ribot ; voir (§35). Nous supposons qu'il s'agit du déjeuner du mercredi 29 janvier, et que c'est le même que celui évoqué ailleurs par Poincaré (§35.1).

<sup>2</sup>Le dispositif expérimental correspond à celui décrit par Le Bon (1896b) dans une note communiquée par Arsène d'Arsonval à l'Académie des sciences le 27.01.1896.

## 35.3 Poincaré à Le Bon

[Ca. 02.1896]

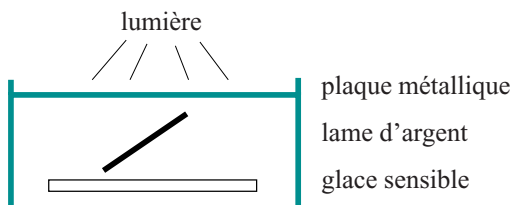
*Résumé d'après les notes prises par by M.-J. Nye d'une ALS dans la collection de Pierre-Sadi Carnot (Nye 37a, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré approuve le protocole d'expérience proposé par Le Bon, à une exception près : il supprimerait le cliché, la présence duquel il suppose superflue.<sup>1</sup> Poincaré croit que la superposition de l'ombre des parties impressionnées du cliché et de celle de la plaque d'argent pourrait engendrer quelque confusion.

Poincaré voudrait voir comment varie la netteté des bords de l'ombre de la plaque quand on varie la distance. Il suggère, pour faire l'expérience en une fois, de prendre une lame

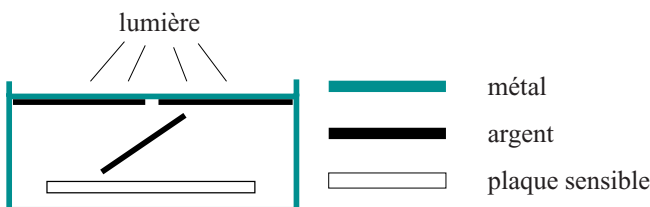


d'argent rectangulaire, et la placer obliquement, l'un des bords étant presque au contact de la glace sensible.



Il dit que M. d'Arsonval a parlé de l'emploi que Le Bon a fait d'un galvanomètre.<sup>2</sup> Poincaré cherche des détails sur la construction de cet instrument et surtout sur l'intensité et la direction des courants qu'il a révélés.

Dans un post-scriptum, Poincaré observe que l'expérience de Le Bon serait beaucoup plus concluante si l'on pouvait immédiatement en dessous de la plaque métallique placer une première lame d'argent percée d'un petit trou.



On aurait ainsi l'équivalent d'un point lumineux, mais il faudrait sans doute augmenter beaucoup le temps de pose.

#### Notes

<sup>1</sup> Voir Le Bon (1896b), où Le Bon décrit une expérience dans lequel un cliché photographique est placé sur une plaque photographique, et une plaque de fer est placée contre le cliché. La plaque de fer est exposée à la lumière d'une lampe à pétrole pendant trois heures. Une image nette du cliché est ainsi produite sur la plaque photographique.

<sup>2</sup> Arsène d'Arsonval (1851–1940) est professeur de médecine au Collège de France et membre de la section de médecine et chirurgie ; il a présenté les premières notes de Le Bon à l'Académie des sciences. Le Bon 1896c évoque l'utilisation d'un galvanomètre dans ses expériences dans une note présentée par d'Arsonval à l'Académie des sciences le 17.02.1896.

## 35.4 Poincaré à Le Bon

[Ca. 04.1897]

*Résumé d'après les notes prises par M.-J. Nye d'une ALS (Nye 33, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré regrette de ne pas pouvoir assister au banquet demain. Il a vu avec Lippmann M. Berget, qui a reproduit l'expérience de Le Bon, mais les effets obtenus à distance, annoncés par Le Bon, lui paraissent plus intéressants.<sup>1</sup> Il estime que ce sera le moyen de

varier l'expérience et sans doute d'en lever les dernières objections. Tant qu'il y a contact, ou une distance très faible, une action électrique est possible.

#### Notes

<sup>1</sup>Voir la note de Le Bon (1897a), présentée à l'Académie des sciences le 05.04.1897 par A. d'Arsonval. Le Bon fait valoir que son expérience sur l'action de la lumière sur divers métaux a été reproduite à la Sorbonne dans le laboratoire de Gabriel Lippmann par ses préparateurs. Il s'agit peut-être d'Alphonse Berget (1860–1934).

## 35.5 Poincaré à Le Bon

[Ca. 04.1897–02.1899]

*Résumé d'après les notes prises par M.-J. Nye d'une ALS (Nye 32, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré signale à Le Bon qu'il n'a pas précisé si un métal frappé par des rayons ultraviolets décharge l'électroscope à distance, sans que cet électroscope soit lui-même touché par la lumière ultraviolette, et si cette propriété persiste quelque temps après la disparition de la lumière.<sup>1</sup>

#### Notes

<sup>1</sup>Il s'agit de mesurer de l'action des corps exposés à la lumière sur un électroscope ; voir la note de Le Bon (1897b) présentée par d'Arsonval à l'Académie des sciences le 26.04.1897, et (§ lebon08). Le Bon s'intéresse aux ondes ultraviolettes dans une autre expérience 1899a, menée sans électroscope. A ce sujet, voir (§ 35.9).

## 35.6 Poincaré à Le Bon

[Ca. 03.1898 ou 11.1898]

Cher Monsieur,

Je pense vous voir au banquet du 30 et nous prendrons alors rendez-vous si vous pouvez trouver un moment pour me montrer vos expériences.

Merci de votre livre ; si tous les chefs socialistes étaient des apôtres comme vous le dites, nous serions perdus ; la plupart heureusement sont plutôt des fumistes avisés.<sup>1</sup>

Souhaitons-le et tout à vous,

Poincaré

#### ALS 2p. Société des amis de Gustave Le Bon.

<sup>1</sup>Le Bon vient de publier *Psychologique du socialisme* (1898).

## 35.7 Poincaré à Le Bon

[Ca. janvier 1899, ou fin mars 1900, ou fin octobre 1906]

Cher Monsieur,  
 Je suis grippé et hors d'état de venir au banquet.  
 Je présenterai votre note lundi.<sup>1</sup>  
 Mille regrets.  
 Votre bien dévoué,  
 Poincaré

**ALS 1p. Société des amis de Gustave Le Bon.**

<sup>1</sup>Sur une quinzaine de notes publiées par Le Bon entre 1896 et 1906, Poincaré en présente quatre : le 16 et le 30 janvier 1899, le 2 avril 1900, et le 29 octobre 1906.

## 35.8 Poincaré à Le Bon

[Avant le 01.01.1899]

*Résumé d'après les notes prises par by M.-J. Nye d'une ALS (Nye 36, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré ne pourra pas rencontrer Le Bon vendredi, mais il le remercie de sa lettre.<sup>1</sup> Il veut se renseigner à propos des expériences qui l'ont vivement intéressées.<sup>2</sup>

Par rapport à la lumière noire, Poincaré veut savoir :

- si tout corps possède la propriété d'emmagasiner cette lumière ou uniquement des corps fluorescents.
- la différence, soit du point de vue de l'intensité de cette action, soit de sa durée, entre des corps comme CaS ou ZnS, par exemple, et ceux comme le marbre ;
- l'influence de la température ;
- si l'action est plus vive après chauffage ;
- si le résidu se dissipe plus rapidement aux températures relativement plus élevées.

Par rapport à la lumière transformée par son passage à travers des métaux, Poincaré veut savoir :

- à travers quelles expériences Le Bon a établi que cette lumière n'est ni réfractée ni polarisé ;
- s'il faut que la plaque soit légèrement voilée comme dans les expériences sur l'ébonite ;
- s'il faut mettre la plaque sensible juste après l'insolation, ou si l'on peut attendre un certain temps, et combien de temps ;
- quelle est la distance maximale entre la plaque sensible et les métaux, et si on peut augmenter cette distance lorsqu'on opère dans un vide relatif.

Par rapport aux radiations traversant des diélectriques, Poincaré veut savoir :

- si on peut mettre la plaque sensible à une certaine distance de l'ébonite.
- si Le Bon a essayé de disperser une lumière intense à l'aide d'un prisme pour comparer l'action de diverses régions du spectre.<sup>3</sup>

Il remarque qu'il faudrait concentrer la lumière du soleil sur une fente à l'aide d'un appareil optique et comme la pose serait peut-être longue il faudrait un héliostat.<sup>4</sup> Poincaré observe enfin qu'il conviendrait d'essayer la lumière électrique, mais que la pose serait sans doute très longue.

#### Notes

<sup>1</sup>La lettre de Le Bon nous manque.

<sup>2</sup>Voir (1899b; 1899a), présentée par Poincaré à l'Académie des sciences le 16 et le 30 janvier 1899. Le Bon y répond à la plupart des questions posées ici par Poincaré.

<sup>3</sup>Le Bon (1899a) étudie l'effet de la lumière ultraviolette en utilisant un prisme.

<sup>4</sup>Le Bon (1899a) emploie cette méthode.

## 35.9 Poincaré à Le Bon

[Ca. 01–05.01.1899]<sup>1</sup>

Cher Monsieur,

Vous m'avez montré hier une plaque photographique qui m'avait paru curieuse. Cette plaque voilée avait été exposée au spectre solaire, et s'était dévoilée dans le violet & le bleu. Une partie de cette plaque avait été recouverte d'une lame d'ébonite très mince et s'était dévoilée, non plus dans le violet et le bleu, mais dans l'infrarouge. J'ai oublié de vous demander si la durée de pose avait été la même dans les deux cas, **oui** ou si elle a été beaucoup plus longue avec l'ébonite ; avec une pose aussi longue et sans ébonite, auriez-vous aussi obtenu du dévoilage dans l'infrarouge ? **Jamais(1)**<sup>a</sup>  
Sincerely yours,  
Poincaré

#### ALS 2p. Collection particulière.

<sup>1</sup>Le Bon rendra cette lettre à son auteur avec annotations, commentaires, et une réponse plus formelle (§ 35.10). Les expériences de Le Bon dont il est question ici donnent lieu à deux notes (1899b; 1899a), présentées par Poincaré le 16 et le 30.01.1899.

## 35.10 Le Bon à Poincaré

5/1/9[9]<sup>b</sup>  
29, RUE VIGNON (MADELEINE), PARIS

Cher Monsieur,

Je vous envoie, sur votre lettre même pour éviter toute confusion, la réponse à votre question.<sup>1</sup> Je joins ensuite à cette lettre une note où à la suite d'anciennes expériences se trouvent celles que j'ai faites hier pour répondre à votre question : Ébonite *sur* et *sous* verre rouge.

<sup>a</sup>Le Bon écrit les deux mots en gras. Le chiffre entre parenthèses renvoie Poincaré à sa lettre du 5 janvier (§ 35.10).

<sup>b</sup>Nous corrigeons la date "5/1/98" qui figure sur le manuscrit.

Suivant votre aimable proposition je vous enverrai prochainement les deux notes suivantes qui sont fort distinctes :

1° *Sur la très grande transparence pour certaines radiations du spectre de corps réputés très opaques.*<sup>2</sup>

2° *Durée de l'émission et propriétés optiques de la lumière obscure émise par certains corps après leur phosphorescence.*<sup>3</sup>

Je vous exprime encore une fois cher Monsieur ma très vive reconnaissance pour l'intérêt—si précieux pour moi—que vous voulez bien porter à mes expériences et vous prie de bien vouloir agréer l'expression de mes sentiments les plus sympathiques.

Gustave Le Bon

P.S. *Clichés à votre disposition* si vous les désirez.

(1)<sup>4</sup> Non seulement la pose a été d'abord la même dans les deux cas mais de plus j'ai essayé ensuite en exagérant la pose 6h au lieu de 1h ½ (temps nécessaire avec l'ébonite) d'obtenir du dévoilage dans l'infra rouge sans interposition d'ébonite. *Jamais je n'ai pu y réussir.* Le dévoilage dans l'infra rouge ne réussit qu'avec interposition d'ébonite (toujours) ou *quelquefois* d'un verre rouge.

Cette expérience pourrait peut-être s'expliquer comme il suit.

Le rouge (voir expériences ci-annexées) impressionne très bien les plaques à la longue mais ne les dévoile *jamais*. Or d'après beaucoup d'observations la lumière se propagerait bien au delà du point qu'elle a frappé. Quand nous posons longtemps le rouge du spectre peut produire un voile dans l'infra rouge et masquer ainsi le dévoilage. Interposons de l'ébonite le rouge du spectre ne peut constater le dévoilage qui alors se manifeste.

Mais alors pourquoi l'interposition d'un verre rouge produit-elle presque les mêmes effets que l'ébonite ? Peut être parce que le verre rouge qui n'arrête pas du tout les rayons infra rouge dévoilants arrête un peu l'action des rayons rouges voilants dont l'action est déjà faite dans le rouge.

Quand on a un spectre étalé par un prisme sur une plaque photographique et en ayant soin de condenser la lumière solaire sur le collimateur par une lentille on obtient les effets suivants dans les temps suivants :

Impression en noir dans le bleu 1 "

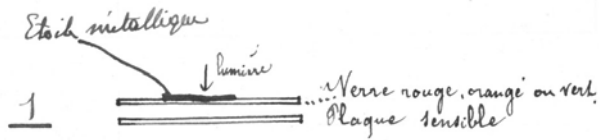
Impression en noir dans le rouge 60 "

Dévoilage dans le bleu succédant au voilage 1 heure

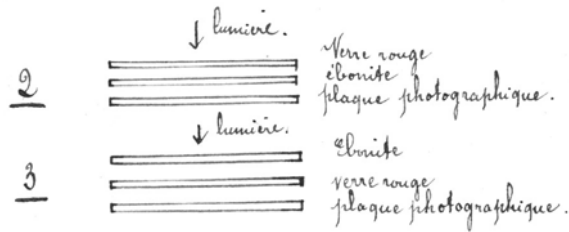
Dévoilage dans l'infra rouge sous l'ébonite 7h ½ (environ).

Si on admet (en prenant la cas du bleu) que pour dévoiler une plaque il faut 60 fois plus de temps que pour la voiler on voit que dans le rouge je devrais avoir facilement du dévoilage or quelle que soit la pose il ne se produit jamais (sans Ébonite).

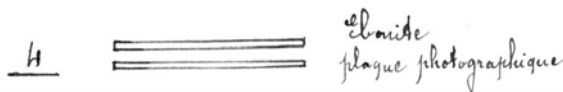
Avec les sulfures (du moins celui de zinc) la durée du dévoilage n'est pas plus longue que la durée de l'impression. L'illumination demande 1 ". La destruction totale de l'illumination (du vert jusque très loin dans l'infra rouge et y compris le rouge) ne demande pas davantage (sans ébonite). Avec le sulfure de calcium la durée du dévoilage est beaucoup plus longue que celle du voilage (c.à.d. de l'illumination).

Impression sous divers écrans<sup>c</sup>

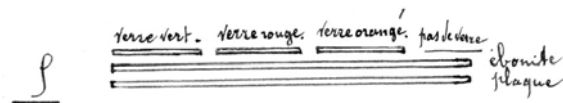
Jamais de dévoilage même après 3 jours de pose au soleil. Il y a seulement impression noire sous le verre de couleur sauf dans la partie de la plaque placée sous l'étoile métallique qui fait réserve.



Le dévoilage est à peu près le même avec ébonite dessus ou dessous le verre rouge<sup>(1)</sup>, mais *beaucoup moindre* que sous l'ébonite seule (N° 4). *Mêmes poses bien entendu*. Le fond reste toujours grisâtre avec le verre rouge sur ou sous ébonite.



Dévoilage parfait.



Pas de dévoilage sous le verre vert, dévoilage médiocre sous le verre rouge recouvrant l'ébonite, dévoilage presque parfait sous le verre orangé recouvrant l'ébonite, dévoilage complet avec l'ébonite seule. Les verres colorés retiennent donc une partie des rayons dévoilants que laisse passer l'ébonite.

En résumé un verre de couleur rouge ou orangé *seul* ne dévoile jamais ni peu ni beaucoup<sup>(2)</sup> si on ajoute *sur* ou *sous* ce verre de l'ébonite on a un dévoilage plus ou moins complet toujours médiocre sous le rouge, presque très bon sous l'orangé.

<sup>c</sup>La suite du manuscrit vient d'une feuille extraite d'un cahier de laboratoire.

- (1) Un peu moindre cependant avec verre rouge sous Ébonite.  
 (2) Pour obtenir du dévoilage sous un verre de couleur sans ébonite il faut employer un verre bleu ou violet, observation confirmée par l'action du spectre prismatique sur la plaque photographique.

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Poincaré voulait savoir si Le Bon avait exposé les parties de sa plaque photographique à la lumière pendant un temps équivalent ; voir (§ 35.9).

<sup>2</sup>Le Bon (1899a), présentée par Poincaré le 30.01.1899.

<sup>3</sup>Le Bon (1899b), présentée par Poincaré le 16.01.1899.

<sup>4</sup>Ce chiffre entre parenthèses est un appel de note, qui correspond à la réponse, "Jamais", donnée par Le Bon à la question de Poincaré (§ 35.9).

### 35.11 Le Bon à Poincaré

9/1 99

29, RUE VIGNON (MADELEINE), PARIS

Cher Monsieur,

Ces expériences seront réalisées dès que j'aurai le soleil assez longtemps assez haut sur mon horizon c'est-à-dire en avril.<sup>1</sup>

En attendant voici le détail d'expériences que j'ai faites samedi à l'arc électrique puis vérifiées hier au soleil.<sup>2</sup> Je voulais savoir les régions de l'infra rouge les plus actives sur les sulfures du moins sur certains sulfures. Le maximum d'action est dans l'infra rouge aux environs de  $1\mu$  et dans cette région la sensibilité est de l'ordre de celle du gélatine bromure pour le bleu.

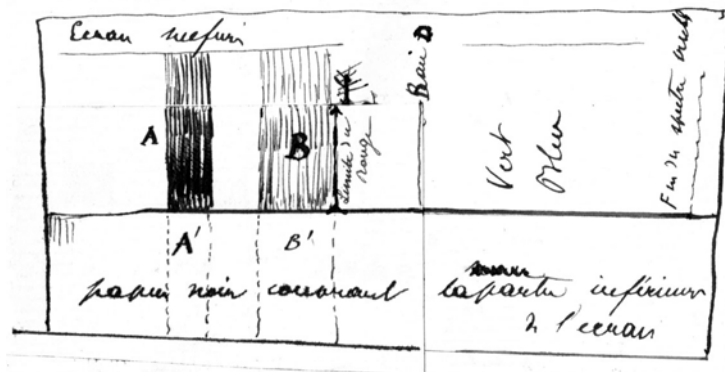


Voici la seconde épuraton permettant de voir à l'œil la sensibilité des diverses régions.

$A^B$  est un écran sulfuré sur lequel on projette un spectre.

$B$  est un corps opaque masquant la partie inférieure de l'écran et qui a été dans l'expérience du papier noir et de l'ébonite.

Voici en *grandeur exacte* les effets observés.



La plaque impressionnée d'abord à la lumière étant mise en place on fait brusquement tomber le spectre sur elle dans l'obscurité et on obtient ce qui suit :

- 1° La *première* action se traduit très rapidement par un noircissement intense en *A* (contours bien moins arrêtés que sur le dessin).
- 2° On observe *ensuite* un noircissement bien moins intense en *B* séparé de *A* par un espace blanc.
- 3° Le noircissement gagne lentement le rouge où il reste toujours faible puis à la longue atteint en se dégradant la région du vert.
- 4° Si on prolonge l'expérience la bande blanche entre *A* et *B* est envahie et disparaît à peu près.
- 5° En soulevant le papier noir on voit qu'il a été traversé (l'impression en *A'* et *B'*).

*Conclusion* : le maximum d'action est assez loin dans l'infra rouge et si les verres rouges détruisent de suite la luminosité des sulfures c'est par l'infra rouge qu'ils laissent passer et non par l'action très faible du rouge.

Répété hier à lumière solaire mais avec bien plus de précision à cause de la perfection de la mise au point grâce à la possibilité d'une petite fente. Même résultat mais les bandes sont bien plus étroites. La bande blanche qui sépare *A* et *B* existe mais à condition de ne pas prolonger la pose plus de 1". En prolongeant la pose la lumière se propage (comme sous les étoiles métalliques couvrant l'ébonite) et on n'a plus qu'une bande uniformément noire jusque au delà de *F*. En comparant les images ainsi obtenues sur les sulfures à celles obtenues photographiquement sous l'ébonite on constate que le dévoilage que je vous ai montré correspond bien à la bande *A*.



Depuis que je vous ai vu j'ai étudié la transparence des solutions suivantes : humeur vitrée de l'œil, bichromate de potasse, sulfate de cuivre, sulfate de fer. Les trois premières sont fort transparentes. La dernière (sulfate de fer) l'est 4 fois moins ce qui veut dire qu'au lieu de 10" pour avoir une image, il en faut 40. La lumière visible est arrêtée par un papier noir qu'on peut mettre comme je vous l'ai montré autour de la lampe.

En résumé les corps diélectriques réputés les plus opaques sont très transparents pour la lumière, si transparents qu'on peut photographier les objets à travers les corps opaques. Pour les métaux il y a évidemment transformation de la lumière (puisqu'il n'y a pas de polarisation) et je n'en parlerai pas pour le moment.

Your very devoted,

Gustave Le Bon

Voici comment s'étend la lumière du spectre sur la plaque fotogr. *d'après les clichés*

- |                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| 1° Pose très courte 1" |  | Spectre à bords très nets.  |
| 2° Pose plus longue 1' |  | Bords très nets mais entourés d'un nuage noir commençant autour du bleu.                    |
| 3° Pose de 1 heure     |   | Extension du voile dans toute la plaque avec dévoilage dans le bleu et le violet seulement. |



N'ayant pu vous montrer que sommairement mes expériences je voudrais cependant vous faire remarquer que la méthode d'étude de la transparence donne des indications comparatives très exactes. Elle est indépendante des variations de la lampe, de la distance à la lampe, de la qualité de l'écran, facteurs encombrants de l'ajustement desquels il n'y a pas à se préoccuper. Le temps est le seul élément à calculer. Prenant dans *chaque expérience* le temps qu'il faut à la lumière de la lampe pour éteindre le sulfure <sup>(1)</sup> *pendant cette expérience* je recherche simplement le nombre de secondes nécessaires pour obtenir la même extinction avec les divers corps opaques à comparer placés à côté. Tout le travail consiste à compter les secondes et comparer l'intensité des 2 plages voisines.

Cette méthode m'a permis de constater les variations énormes d'intensité qu'éprouve le spectre infra rouge solaire, par suite sans doute de l'absorption qu'aura la vapeur d'eau des nuages. A certains moments le spectre infra rouge solaire peut devenir 60 fois moins actif. Les rayons actiniques ne varient jamais dans de telles proportions.

(1) Les lumières artificielles employées (bougies, pétrole) éteignent le sulfure de Zn mais ne l'illuminent pas. Avec le sulfure de calcium ce serait le contraire. Il ne s'éteint que derrière un corps opaque.

**ALS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré encourage Le Bon à ne pas attendre le soleil (§35.12).

<sup>2</sup>Il s'agit des investigations des propriétés optiques de la luminescence, et des rayons ultraviolets Le Bon (1899b,a).

## 35.12 Poincaré à Le Bon

[Ca. 23–29.01.1899]

*Résumé d'une ALS d'après les notes prises par M.-J. Nye (Nye 35, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré accepte volontiers de présenter la note de Le Bon (1899a) à l'Académie des sciences. Il veut savoir si Le Bon peut passer à l'Institut lundi ; dans ce cas ils pourraient s'entendre à propos de quelques modifications dans la rédaction, qui permettraient d'éviter toute équivoque par rapport aux communications précédentes. Par exemple, Poincaré ne prononcerait pas le mot lumière obscure, parce que certains feraient la confusion avec ses premières recherches sur la lumière noire.

Poincaré rappelle à Le Bon une remarque de ce dernier, selon laquelle il connaissait depuis longtemps le fait que les propriétés photographiques de ces radiations obscures persistent plusieurs mois après leur insolation. Il veut savoir s'il y a des expériences plus anciennes sur ce sujet, et dit qu'il conviendrait de les mentionner, le cas échéant.

Dans un post-scriptum, Poincaré se dit tracassé par le cas des radiations qui dévoilent une plaque sensible quand elles ont traversé l'ébonite, mais qui ne la dévoilent pas quand elles ne l'ont pas traversée. Il dit qu'il est fâché que Le Bon n'ait pas de soleil en ce moment-là. Il lui suggère de faire quelque chose avec une faible dispersion mais en faisant tomber cependant en dehors de la plaque toute la partie visible du spectre ; cela serait déjà quelque chose.

A propos de la propagation de l'action de la lumière infrarouge sous les métaux par diffusion, Poincaré lui demande s'il a essayé de voir si cela se reproduit encore quand tout le sulfure se trouve recouvert par le voile, de telle façon qu'aucune partie du sulfure ne soit atteinte directement par la lumière.

### 35.13 Poincaré à Le Bon

[Après le 27.03.1899]

Cher Monsieur,

Merci de vos volumes et de votre lettre.<sup>1</sup>

Avant de commencer les expériences sur la réflexion, il faudrait d'abord s'assurer de la cause de l'affaiblissement avec la distance.

Est-ce simplement la loi du carré des distances ?

Est-ce l'absorption par l'air ?

Est-ce la diffusion par l'air ?

Si c'est l'absorption par l'air il conviendrait comme vous le dites d'opérer avec de très petits miroirs.

Mais si c'est la diffusion on n'aurait de succès ni avec les petits ni avec les grands miroirs ; on ne pourrait se tirer d'affaire qu'en opérant dans le vide et il importerait en tout cas d'étudier d'abord l'influence du degré de vide sur la distance à laquelle se propagent les rayons.

Si l'affaiblissement est dû simplement à la loi du carré des distances, on doit réussir avec de grands miroirs aussi bien qu'avec de petits.

Becquerel avait fait l'expérience de la manière suivante.<sup>2</sup> Il pose un morceau de sel d'urane sur une plaque fotogr. enveloppée de papier noir ; et il couvre le tout par un petit miroir hémisphérique d'un centimètre de rayon à peu près. Il constate que l'action est renforcée par ce miroir et que le négatif devient plus noir vers le centre.

Cela n'est pas concluant. Il faudrait répéter l'expérience en interceptant par un écran l'action directe du sel d'urane pour n'avoir que l'action réfléchie.

Comme le résultat sera probablement négatif, il faut prendre bien des précautions afin d'être bien sûr d'avoir éliminé toutes les causes qui pourraient empêcher le succès.

Votre bien dévoué,

Poincaré

**ALS 3p. N. A. Fr. Don 87–18, Bibliothèque nationale.**

<sup>1</sup>La lettre de Le Bon nous manque. Les livres les plus récents de Le Bon sont *Les lois psychologiques de l'évolution des peuples* (1894), *Psychologie des foules* (1895), et *Psychologie du socialisme* (1898).

<sup>2</sup>H. Becquerel (1899b), note présentée à l'Académie des sciences le 27.03.1899.

### 35.14 Poincaré à Le Bon

[Ca. 1899–1901]

Cher Monsieur,

Je m'aperçois que je ne vous ai pas répondu pour le banquet. J'y assisterai avec grand plaisir.

Je connais les expériences de Crémieu. Il se doute parfaitement qu'il démolit la théorie des rayons cathodiques, mais cela lui est égal.<sup>1</sup>

Tout à vous,

Poincaré

**ALS 1p. Société des amis de Gustave Le Bon.**

<sup>1</sup>Victor Crémieu (§ 17) essaie sans succès de mettre en évidence l'effet Rowland.

### 35.15 Poincaré à Le Bon

[Ca. 11.1900]

Cher Monsieur,

Je vais partir en voyage et ne pourrai malheureusement être des vôtres le 28.

Ce sera pour mon retour au mois de décembre.<sup>1</sup>

Tous mes regrets.

Votre bien dévoué,

Poincaré

**ALS 1p. Société des amis de Gustave Le Bon.**

<sup>1</sup>Il s'agit peut-être d'un banquet donné par G. Le Bon et Th. Ribot. Le 28 novembre 1900 est un mercredi.

### 35.16 Poincaré à Le Bon

[29.06.1902]

Cher Monsieur,

Je demanderai la parole demain, je l'aurais même demandée lundi dernier si je n'avais été trompé par la ressemblance de consonance des deux noms Nodon et Le Bon si bien que j'ai cru que Mascart rendait compte de votre note.<sup>1</sup>

Vous vous rappelez peut-être que dans ma dernière lettre je vous demandais si la note soumise à une commission était la même dont Mascart avait rendu compte.<sup>2</sup>

Votre bien dévoué,

Poincaré

**ALS 2p. Société des amis de Gustave Le Bon.**

<sup>1</sup>Élie Mascart (§ 39) présente une note d'Albert Nodon (1902) sur les phénomènes actino-électriques à l'Académie des sciences lors de la séance du 23.06.1902. La note de Le Bon (1902a) sur la lumière noire et le phénomènes actino-électriques est publiée deux semaines plus tard.

<sup>2</sup>La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée.

## 35.17 Poincaré à Le Bon

[Ca. 07.07.1902]

Cher Monsieur,

Votre affaire est arrangée je pense et vos deux notes paraîtront samedi seulement la seconde note a été plutôt nuisible, quelques personnes prétendent qu'elle annulait la première. Enfin tout me semble arrangé.<sup>1</sup>

Je ne comprends pas très bien que vous ayez supposé que cela pourrait paraître samedi dernier. L'autre lundi j'ai pris la parole mais la note n'était pas là, elle était entre les mains de M. Sarrau.<sup>2</sup> Il a fallu qu'il la transmette à M. Becquerel et que celui-ci me la renvoie.<sup>3</sup> J'ai reçu votre volume sur l'Education ; je vous en remercie beaucoup, je l'ai lu avec autant de plaisir que d'intérêt.<sup>4</sup>

Votre tableau n'est pas faux, mais il est dépourvu de nuances. Vous avez voulu faire du Taine mais le procédé de Taine, qui consiste à juxtaposer des découpures d'auteurs divers, peut conduire et a conduit Taine lui même à des résultats bien extraordinaires.<sup>5</sup> Le mal que vous signalez est réel et bien plus profond en France qu'en Allemagne et pourtant il serait aisé de composer avec des découpures d'auteurs allemands un tableau des établissements d'instruction allemands tout pareil à celui que vous tracez des nôtres ; ce tableau serait moins exact que le vôtre, mais il serait facile de le justifier par des citations qui sembleraient tout aussi probantes.

Et avec des découpures des journaux anglais pendant la dernière guerre, on pourrait, en les choisissant avec art, donner une fichue idée de l'Angleterre.

Tout cela n'empêche pas que le mal ne soit réel, je ne vous reproche que de le proclamer sans remède.

Tout à vous

Poincaré

**ALS 3p. N. A. Fr. Don 87–18, Bibliothèque nationale de France.**

<sup>1</sup>Le Bon (1902a,c), communiquées le 07.07.1902, annoncent des articles à paraître dans la *Revue scientifique* (1902b; 1903). Alors que la première note présente des mesures de l'interaction de la lumière avec divers corps, dans la suite des recherches sur la "lumière noire", la seconde revendique la priorité de découverte, annoncée par Le Bon (1897a) avant Nodon (1902).

<sup>2</sup>Émile Sarrau (1837–1904) est membre de l'Académie des sciences, section de mécanique, et professeur de mécanique à l'École polytechnique.

<sup>3</sup>La première note de Le Bon (1902a) est renvoyée aux commissaires Sarrau, Poincaré, et H. Becquerel lors de la séance du 09.06.1902 (*Comptes rendus* 134, 1387–1388).

<sup>4</sup>Le Bon (1902d).

<sup>5</sup>Hippolyte Taine (1828–1893), historien et essayiste.

## 35.18 Le Bon à Poincaré (fragment)

29.11.[190]2

29, RUE VIGNON (MADELEINE), PARIS

Cher Monsieur,

J'ai pensé à ces expériences (décharges produites par réactions de corps enfermés) et je vais faire faire une boîte spéciale. Avec des corps gazeux ce serait difficile mais avec du sulfate de quinine ce sera facile à condition qu'il trouve dans la boîte l'eau nécessaire pour s'hydrater. D'avance je peux vous dire que la décharge sera énormément réduite. Les choses se passent comme s'il fallait que les ions puissent circuler pour agir. Si par exemple on pose sur le plateau de l'électroscope une lame enduite d'oxyde de thorium sur une seule de ses faces la décharge sera faible quand la couche de thorium regardera le plateau de l'électroscope et grande quand elle regardera l'atmosphère. En d'autres termes le thorium emprisonné entre une lame (conductrice ou non) et le plateau de l'électroscope perd une partie de son action.

Ce sujet m'a préoccupé longtemps et vous verrez mieux dans mon mémoire une figure (page 624) où je montre comment on peut réduire de plus de moitié la décharge du même corps simplement avec une lame placée à distance au-dessus de lui. C'est en réalité une boîte fermée seulement en partie.<sup>1</sup>

Je n'ai pas insisté sur le sujet parce que les conclusions à tirer me semblent obscures. J'ai été frappé hier de voir que vous aviez songé à cette expérience. Vous me feriez bien plaisir quelles *interprétations vous tireriez du fait de la réduction de la décharge quand les corps actifs sont enfermés dans une boîte ?*

La note de Kaufman que je vais tacher de découvrir m'intéresse particulièrement.<sup>2</sup>

Dans mon prochain mémoire rédigé [fin de fragment]

**AL fragment 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Le Bon (1902b), deuxième partie (pp. 614–625), publiée le 15.11.1902.

<sup>2</sup>Il s'agit vraisemblablement des expériences de Walter Kaufmann à propos de la déviation des rayons Becquerel (1901; 1902).

## 35.19 Poincaré à Le Bon

[Ca. 06–10.1903]

*Résumé d'après les notes prises par by M.-J. Nye d'une ALS (Nye 26, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré répond à une question de Le Bon à propos d'une phrase sur la densité de l'éther, écrite par un auteur anglais. La phrase en question, dit Poincaré n'a aucun sens précis. Si l'auteur voulait dire que l'éther a plus de masse que la matière, il aurait dit une vérité parce que selon ce même auteur la matière n'en a pas. S'il voulait dire que l'éther a plus de masse que l'on attribuait autrefois à la matière, il aurait dit quelque chose d'inexacte,

parce que la masse que l'on attribue à l'éther aujourd'hui est précisément celle qu'on attribuait auparavant à la matière. Les Anglais font volontiers ce genre d'assertion, Poincaré observe, sans bien réfléchir.<sup>1</sup>

Poincaré aborde ensuite une question à propos des rayons N. La différence d'intensité du plaque témoin est à peine sensible, dit-il, peut-être  $\frac{1}{20}$ . Sur les plages soumises aux rayons N, cette différence est en dessous de  $\frac{2}{3}$ .<sup>2</sup>

#### Notes

<sup>1</sup>Les physiciens que cite Le Bon (1903, 517) à propos de la densité de l'éther sont J. Larmor, J.C. Maxwell, et W. Thomson. Son article est publié en trois numéros de l'hebdomadaire *La revue scientifique* à partir du 17.10.1903 ; Poincaré lui en communiquera son opinion (§ lebon15).

<sup>2</sup>A propos des rayons N, voir la correspondance avec Blondlot (§9).

## 35.20 Poincaré à Le Bon

[Après le 31.10.1903]

*Résumé d'après (Le Bon, 1905, 65) et les notes prises par by M.-J. Nye d'une ALS (Nye 37b, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré a lu le mémoire de Le Bon paru dans la *Revue rose*.<sup>1</sup> Il attire l'attention de Le Bon sur l'opposition entre la conception de Le Bon de l'origine de la chaleur solaire, et celle de Helmholtz–Kelvin, qu'il explique par rapport à l'énergie potentielle. Quand la nébuleuse se condense pour former le soleil, son énergie potentielle se transforme en chaleur, qui se dissipe ensuite par rayonnement. Quand des sous-atomes se réunissent pour former un atome, cette condensation emmagasine de l'énergie sous forme d'énergie potentielle, et c'est lorsque l'atome se désagrège que cette énergie reparaît sous forme de chaleur, par exemple, dans le dégagement de chaleur par le radium. Ainsi la réaction nébuleuse → soleil est exothermique. La réaction sous-atomes isolés → atome est endothermique.

Poincaré pose alors une question : si cette combinaison est endothermique, comment peut-elle être si extraordinairement stable ?<sup>2</sup> Il remarque que c'est Berthelot qui ne sera pas content.<sup>3</sup>

Pour Poincaré, il s'agit de questions qui ne sont pas près d'être résolues, qu'il est bon de les soulever, mais qu'il vaut mieux que Le Bon laisse son mémoire dans son état.

#### Notes

<sup>1</sup>Le Bon (1903), publié les 17, 24, et 31.10.1903. Le Bon a déjà interrogé Poincaré à propos de ce mémoire ; voir (§ 35.19).

<sup>2</sup>L'extrait publié par Le Bon (1905, 65) se termine sur cette question.

<sup>3</sup>Selon Marcelin Berthelot, une réaction chimique qui s'accomplit sans source d'énergie externe se fait de tel sorte que la quantité maximale de chaleur soit libérée.

### 35.21 Poincaré à Le Bon

[Ca. fin 1905]

Cher Monsieur,

Je ne pourrai assister au banquet vendredi ; je vous renvoie la lettre de J.J. ; elle augmente mes perplexités je ne comprends plus du tout sa pensée.

Je ferai volontiers des articles pour l'*Athenæum*, mais je vais d'abord en lire quelques numéros pour voir la nature habituelle des articles et le genre de public auquel cette revue s'adresse.<sup>1</sup>

Tout à vous,  
Poincaré

#### ALS 1p. Société des amis de Gustave Le Bon.

<sup>1</sup>Poincaré publie un seul article dans l'*Athenæum* (1906c), le 17.02.1906. L'article est réédité par Le Bon dans *La science et l'hypothèse* à partir de 1907. Son titre, "La fin de la matière," rappelle volontiers celui de l'ouvrage de Le Bon, *L'évolution de la matière* (1905).

### 35.22 Poincaré à Le Bon

[Ca. 1911]

Cher Monsieur,

Certainement je vous enverrai un exemplaire des *Hypothèses Cosmogoniques*.<sup>1</sup> Je vois que vous êtes piqué que je ne vous aie pas accusé réception de votre dernier livre.<sup>2</sup> Cela prouve que vous ne me connaissez pas encore et que vous ne savez pas combien je suis paresseux pour écrire. Cela ne veut pas dire que je ne lis pas vos livres, ni que je ne les apprécie pas.

Tout à vous,  
Poincaré

#### ALS 2p. Société des amis de Gustave Le Bon.

<sup>1</sup>Poincaré (1911b).

<sup>2</sup>Il s'agit peut-être de *Les opinions et les croyances* (1911), à propos duquel Poincaré semble donner son avis dans une autre lettre (§ 35.23).

### 35.23 Poincaré à Le Bon

[26.11.1911]<sup>1</sup>

*Résumé d'après les notes prises par by M.-J. Nye d'une ALS (Nye 28, Archives Henri Poincaré).*

Poincaré commence sa lettre par un point d'humeur : pour une fois qu'il puisse lire une des lettres de Le Bon, il ne veut pas manquer d'y répondre.<sup>2</sup> Il rappelle une proposition de Le Bon selon laquelle les partisans de deux opinions ne peuvent sortir du domaine de

la croyance. Le Bon a raison sur ce point, mais qu'il a tort de croire qu'un jour ils en sortiront, et même qu'ils devraient chercher à en sortir, ou que la question est susceptible d'une résolution par le raisonnement.<sup>3</sup> Poincaré affirme qu'il n'y a pas de raisonnement qui puisse aller au fond des choses. Il attire l'attention de Le Bon sur la logique de l'argument, qui serait bon pour les maîtres d'école.

#### Notes

<sup>1</sup>Les notes de M.-J. Nye font état d'une annotation : "26-11-1911".

<sup>2</sup>La lettre de Le Bon à Poincaré n'a pas été retrouvée.

<sup>3</sup>Il s'agit vraisemblablement d'un livre récent de Le Bon, *Les opinions et les croyances* (1911), dans lequel l'auteur rappelle la croyance dans la réalité des rayons N d'Henri Becquerel (pp. 272–273). Ce dernier, prix Nobel de physique (1903), mort en 1908, a suggéré (1897a) que la "lumière noire" de Le Bon n'était autre que la lumière infrarouge.

## 35.24 Poincaré à Le Bon

[Ca. 1895–1912]

Cher Monsieur,

J'espère que je n'aurai pas d'empêchement vendredi 25 et que j'aurai le plaisir de me joindre à vous.

Votre bien dévoué,

Poincaré

**ALS 1p. Société des amis de Gustave Le Bon.**



## Chapitre 36

# Henry Le Chatelier

Henry Le Chatelier (1850–1936) fait ses études à l'École polytechnique (1869), où il entre au premier rang, et à l'École des mines de Paris. Il fréquente le laboratoire d'Henri Sainte-Claire Deville à l'École normale supérieure, et les cours de Joseph Bertrand et Étienne-Jules Marey au Collège de France. A partir de 1877, il enseigne la chimie à l'École des mines, où il aurait pu croiser l'étudiant Poincaré. Le Chatelier obtient son doctorat à la Sorbonne en 1887, et la même année il occupe la nouvelle chaire de chimie industrielle à l'École des mines. En 1898 il est nommé à la chaire de chimie minérale au Collège de France, qu'il quitte en 1907 pour succéder à Henri Moissan à la chaire de chimie générale à la Sorbonne. Il devient aussi membre de la section de chimie à l'Académie des sciences en 1907 (1968, 326).

S'il effectue des travaux importants en recherche fondamentale (étude des équilibres dans les réactions chimiques d'où est issu le principe qui porte son nom, étude en thermodynamique des systèmes réversibles de J.W. Gibbs) il oriente ses recherches vers les applications industrielles. Il fonde en 1904 la *Revue de métallurgie*, qui met en avant une science attentive aux besoins de l'industrie, et participe à de nombreuses commissions mises en place par le gouvernement sur les questions scientifiques et industrielles. A la Sorbonne, avec Paul Janet (1863–1937) et Albin Haller, Le Chatelier promeut une science appliquée, ouverte à l'industrie et la commerce.<sup>1</sup>

La correspondance transcrite dans ce volume concerne les travaux d'une de ces commissions : la Commission scientifique d'étude des poudres de guerre. Suite à l'explosion du cuirassé Iéna le 12.03.1907, le président Fallières crée cette commission mixte par décret du 06.04.1907, sur proposition conjointe des ministres de la Guerre et de la Marine. Alors qu'Élie Mascart remplace Marcelin Berthelot à la présidence de la commission des substances explosives, la présidence de la nouvelle commission des poudres est confiée à Poincaré. Sous sa présidence, les travaux dirigés par la commission aboutissent en 1910 au remplacement du stabilisant utilisé dans la poudre B, mise au point par Paul Vieille en 1881.<sup>2</sup>

Comme l'observe Patrice Bret, cet échange éclaire les problèmes de la recherche militaire

française à l'époque de l'Entente cordiale et au lendemain de la crise franco-allemande de Tanger : le blocage consécutif à une avance précoce et induit par la position inébranlable des spécialistes (Marcelin Berthelot et Paul Vieille), la guerre que se livraient alors les laboratoires militaires et les différents services et armes (Poudres et salpêtres, Artillerie, Marine), l'influence des "marchands de canon" (qui conduit Le Chatelier à démissionner avec fracas), la nécessité de recourir à des savants et des laboratoires civils.<sup>3</sup>

## Notes

<sup>1</sup>Sur la carrière de Le Chatelier, voir le *DSB* et Michel Letté (2004). A propos de l'institutionnalisation des sciences appliquées en France dans cette période, voir Paul (1985), M.-J. Nye (1986), et Grelon (1990).

<sup>2</sup>*Mémorial des poudres et salpêtres* 14, 1907–1908, 204.

<sup>3</sup>P. Bret, "La guerre des laboratoires : Le Chatelier, Poincaré et la Commission scientifique d'étude des poudres de guerre (1907–1908)," communication au 127<sup>e</sup> congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Nancy, le 15.04.2002 (article à paraître).

## 36.1 Le Chatelier à Poincaré

Paris 24 Avril 1907

Mon cher Président,

Lorsque je suis venu à notre première réunion de la commission des poudres j'arrivais de la campagne et n'avait pu prendre aucun renseignement sur le but de nos travaux. L'allure de la discussion m'avait tout à fait ahuri et incité à formuler quelques réserves sur le programme de nos travaux. Depuis j'ai eu l'occasion d'entendre causer de toutes sortes de points de vue, histoires de syndicats, de Schneiderite etc., qui me semblent absolument confirmer l'opportunité de mes réflexions et j'attacherai une certaine importance à les voir figurer au procès-verbal.<sup>1</sup> Je vous en envoie ci inclus le texte.<sup>2</sup>

Veillez agréer, Mon cher Président, l'expression de mes sentiments très dévoués.

### **TLX 1p. Dossier Le Chatelier, Archives de l'Académie des sciences, Paris.**

<sup>1</sup>La schneiderite est un explosif.

<sup>2</sup>La pièce jointe à cette lettre (TDX 1p, Archives de l'Académie des sciences), annexée au procès-verbal de la séance, contient les propos suivants :

Mr. H. LE CHATELIER croit devoir, à l'occasion des réflexions de Mr Clémenceau sur les responsabilités des membres de la commission, formuler au sujet du programme des travaux de la commission un sentiment qu'il avait jusque là hésité à exprimer. Cette commission a été nommée, cela est bien certain, en vue de donner une satisfaction à l'opinion publique ; elle semblait avoir pour mission d'étudier les mesures propres à éviter le retour d'aussi graves accidents. Or le programme de nos travaux laisse de côté la plus grande partie des questions réellement importantes pour la sécurité ; le problème de la conservation des poudres n'est qu'un tout petit côté de la question.

Par une collaboration de 25 années à tous les efforts faits pour réduire le nombre et l'importance des accidents de grisou dans les Mines, il a pu reconnaître l'efficacité de certaines méthodes de travail. La sécurité complète des mines grisouteuses depuis vingt ans a été obtenue par la superposition de toute une série de précautions de détail, d'ordres aussi différents que possible. Mais la recherche d'une panacée, souvent recommandée pour rendre le grisou inexplorable, problème ressemblant à celui qui nous est aujourd'hui posé, n'a pas même été examiné. La meilleure preuve de l'efficacité de ces mesures est

encore le grave accident survenu dans une mine censée non grisouteuse et dans laquelle pour ce motif aucune des précautions indispensables n'étaient prises.

Son opinion formelle est donc que de toute façon les résultats des travaux de la commission ne pourront avoir qu'une action tout à fait secondaire sur la diminution du nombre et de la gravité des accidents occasionnés par les poudres de guerre.

(Cette note a été effectivement annexée au procès-verbal de la séance de la Commission. H. L. C.)

Georges Clémenceau (1841–1929) est président du Conseil entre octobre 1906 et juillet 1909.

## 36.2 Le Chatelier à Poincaré

Paris 11 Mai 1907

Mon cher Camarade,

Je viens de recevoir la note par laquelle vous annoncez votre désistement pour la place de Secrétaire perpétuel.<sup>1</sup> Permettez moi de vous en exprimer ma bien vive reconnaissance.<sup>2</sup> Ce sentiment sera, je crois, partagé par un grand nombre de nos confrères. Nous étions pris entre la volonté de maintenir aux sciences physiques la place à laquelle elles ont droit dans l'Académie et la préoccupation de ne pas vous infliger un échec aussi peu justifié à votre égard que peu profitable au bon renom de l'Académie. Vous auriez sans doute été nommé, mais comme vous le dites à une faible majorité. Il aurait subsisté de votre élection un certain malaise dans l'Académie. Votre décision évite cette éventualité fâcheuse, il ne subsistera de cet incident qu'un sentiment général de reconnaissance à votre égard.

Veillez agréer, Mon cher Camarade, l'expression de mes respectueuses félicitations avec tous mes vœux pour votre brillant succès à l'Académie Française.<sup>3</sup>

H. Le Chatelier

### TLS 1p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Poincaré envoie une lettre à ses confrères afin de leur annoncer son désistement en faveur d'Albert de Lapparent le 10.05.1907 ; voir l'exemplaire qu'il envoie à Henri Becquerel (§4.11).

<sup>2</sup>Le Chatelier est membre—depuis cinq jours—de la section de chimie, division des sciences physiques, dont le nouveau secrétaire perpétuel a la charge.

<sup>3</sup>Marcelin Berthelot est mort le 18.03.1907, et à partir du mois d'avril, Poincaré fait des visites de candidature pour son siège à l'Académie française. Dix jours après le désistement de Poincaré en sa faveur, Albert de Lapparent écrit à ce dernier afin de l'informer des démarches qu'il entreprend en faveur de sa candidature à l'Académie française. Rien ne permet, pourtant, d'affirmer l'existence d'un accord entre de Lapparent et Poincaré au sujet des deux postes, comme l'observe Rollet (2001, 296).

## 36.3 Le Chatelier à Poincaré

Paris le 22 Octobre 1907

Mon Cher Président,

J'ai un peu réfléchi au projet de laboratoire dont vous m'avez entretenu hier, j'en ai un peu causé avec M. Haller, mais je n'ai pas pu joindre M. Vieille qui était parti avant la fin de la séance de l'Institut.<sup>1</sup>

Il me semble *a priori* bien difficile, à moins de circonstances exceptionnelles que je ne connais pas, de faire aboutir utilement une semblable tentative. C'est pour moi un axiome au-dessus de toute discussion que pour produire quelque chose d'utile, l'unité d'action est indispensable, la forme républicaine ne convient ni à la science ni à l'industrie et je cherche sans la trouver la tête de votre laboratoire.

Si c'est M. Vieille, c'est le *statu quo* avec un simple changement de nom. Toutes les recherches relatives à nos poudres de guerre se sont faites dans son laboratoire, on l'appellerait dans l'avenir le laboratoire de la Commission, cela est sans intérêt.

Sera-ce un artilleur? Depuis la mort du Général Castan, je n'en vois pas qui soit à la hauteur de cette tâche, nous avons plutôt eu jusqu'ici affaire à des représentants médiocres de cette arme, ce serait d'ailleurs un véritable scandale de mettre M. Vieille à la porte d'un laboratoire où il a personnellement créé tout notre armement actuel et indirectement celui du monde entier. Nous serions la risée de tous les pays.

Sera-ce un savant autorisé étranger aux compétitions actuelles et suffisamment compétent dans la matière, pouvant grouper sous sa direction les services rivaux des poudres et de l'artillerie, M. Haller, par exemple? La solution serait excellente, s'il voulait donner sa démission de directeur de l'École de Chimie et de Physique et de professeur à la Sorbonne pour se consacrer entièrement à cette tâche patriotique. Je doute que cela soit dans ses intentions. Il est cependant absolument impossible d'étudier des questions aussi complexes touchant à la fois, en dehors de la partie scientifique, à des questions industrielles de fabrication, à des questions d'art militaire, sans y consacrer la totalité de son temps.

En fait, il ne serait certainement question d'aucune des hypothèses précédentes, la force logique des choses conduirait à l'organisation d'un laboratoire dirigé par une Commission présidée elle-même par un homme illustre. Or, cette organisation n'est pas nouvelle, elle a fait ses preuves, c'est celle de la Commission des substances explosives. Lorsqu'elle a été créée sous la présidence de M. Berthelot en 1871, elle avait précisément pour mission de coordonner tous les efforts relatifs à l'amélioration de notre armement et avait sous sa dépendance le laboratoire des poudres et Salpêtres. M. Berthelot s'en est tout d'abord activement occupé, il a étudié ces questions nouvelles pour lui et a publié son beau traité sur les substances explosives. Il ne semble pas à ma connaissance être sorti aucun perfectionnement bien important de cette première phase des travaux de la Commission des substances explosives. Peu à peu, son rôle s'est restreint. On a cessé de la consulter, les services des poudres, d'une part et de l'artillerie de l'autre estimant, avec quelque apparence de raison, être plus compétents qu'une réunion hétérogène de personnes parfois tout à fait étrangères aux questions militaires. Aujourd'hui son rôle est rigoureusement restreint à l'étude des questions n'intéressant *aucun* des services de la guerre.

Les études sur la mélinite, sur la poudre sans fumée ont été faites en dehors de toute initiative de sa part. Est-ce bien la peine de recommencer à parcourir le même cycle? Je crains bien que cela ne soit non seulement inutile, mais même extrêmement dangereux. Nous n'avons aucunement la certitude, en proposant de ressusciter cet ancien organisme, de le voir reconstituer avec la même préoccupation de l'intérêt public que la première fois. Nous nous exposons à préparer une nouvelle édition du laboratoire du Conservatoire des Arts et Métiers, ce ne serait pas un souvenir glorieux pour la Commission et je serai très préoccupé pour mon compte d'assumer une telle responsabilité.

Voici mon sentiment de premier jet, il pourra se modifier peut-être à la suite de nouveaux échanges de vues et c'est pour cela que je vous exprime de suite très franchement ma manière de voir.

Veuillez agréer, Mon Cher Président, l'expression de mes sentiments tout dévoués.

H. Le Chatelier

**TLS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré et Le Chatelier ont pu se voir à la séance de l'Académie des sciences du 21.10.1907.

## 36.4 Poincaré à Le Chatelier

[Ca. 22–26.10.1907]<sup>a</sup>

Mon cher Confrère,

J'ai médité votre lettre depuis que je l'ai reçue et voici les réflexions qu'elle m'inspire.<sup>1</sup> J'ai été frappé d'un fait au cours des discussions, c'est qu'un grand nombre de points importants n'ont pas été étudiés scientifiquement. Ainsi le mécanisme de la décomposition demeure ignoré ; la cause de l'emballement etc. ; je ne vois pas qu'on ait fait des analyses de brins arrivés à différents stades de la décomposition pour essayer d'en reconstituer les phases successives.

Autre exemple ; quand il s'est agit des méthodes d'essai, j'ai été frappé de la grandeur de la dispersion ; et je vous ai demandé si vous ne croyiez pas qu'il y aurait moyen de la diminuer ; je n'ai pas voulu insister ; parce que j'aurai eu l'air de critiquer ce qui a été fait, ce qui n'était nullement dans mon intention et parce qu'on aurait pu en abuser contre nous. Sans ces considérations, je ne vous aurais certes pas contredit, puisque je n'ai aucune espèce de compétence en la matière, mais je vous aurais demandé des explications complémentaires, je vous aurais demandé par exemple dans quelle mesure on peut compter sur le fonctionnement du papier de tournesol à de si hautes températures.

J'aurais d'autres exemples à citer, mais je veux dire avant tout que je crois que Vieille a fait tout ce qu'il a pu et qu'il était le plus compétent pour le faire. D'où vient donc qu'il n'a pas résolu tous ces problèmes ? Est-ce parce qu'ils étaient et qu'ils resteront toujours insolubles ? Je ne le crois pas ; c'est parce qu'il ne disposait pas de ressources suffisantes. Les opérateurs dont il disposait étaient absorbés par le service courant qui ne leur laissait ni le temps, ni la liberté d'esprit nécessaires pour un travail scientifique de longue haleine. Si on demande de faire un très grand nombre d'essais industriels et rapides sur un très grand nombre d'échantillons, et si ce travail leur est représenté comme urgent et comme devant être terminé toute affaire cessante, il est clair qu'il ne leur restera plus assez de temps pour des travaux qui ne peuvent donner de fruits qu'à longue échéance.

C'est pourquoi je voudrais voir créer à côté des organes actuels un laboratoire nouveau exclusivement consacré à des recherches d'ordre scientifique et absolument affranchi du service courant. Les organes existants subsisteraient et conserveraient toutes leurs attributions, ils n'interféreraient pas avec l'organisme nouveau.

<sup>a</sup>Le texte du manuscrit est souligné à plusieurs endroits, vraisemblablement par son destinataire.

Autrement lorsque nous voudrions faire des expériences, et par exemple une série d'analyses sur des brins amenés à divers stades de décomposition soit naturellement, soit par chauffage ; il faudra les faire faire, ou par les laboratoires actuels, ou par les laboratoires extérieurs. Les premiers sont surchargés ; la seconde solution présenterait des inconvénients et d'ailleurs les laboratoires extérieurs ne pourraient probablement non plus y consacrer que peu de temps.

Vous soulevez la question de direction. Des quatre solutions que vous examinez, il y en a deux qu'il faut rejeter ; on ne peut la donner à l'artillerie qui a le culte du galon et qui nous enverrait sans doute, non pas l'un des hommes très compétents que l'on peut trouver dans l'arme, mais quelque divisionnaire qui serait préféré aux autres uniquement parce qu'il ne pourrait plus monter à cheval.

D'autre part, il est évident que M. Haller ne pourrait pas s'en charger et je ne vois pas pour le moment d'autre savant qui aurait assez d'autorité pour cela.

Les deux autres solutions, au contraire, me paraissent devoir être examinées de plus près : Pourquoi pas M. Vieille ? Vous dites que ce serait le statu quo avec un simple changement de nom. Pas du tout, puisqu'il s'agit de lui donner de nouvelles ressources. Je suppose que dans le nouveau laboratoire travaillent côte à côte des ingénieurs, des artilleurs et des marins (n'ayant pas d'autre service) sous la direction immédiate d'un ingénieur de poudres ; je ne vois pas pourquoi cet ingénieur ne serait pas placé sous les ordres de M. Vieille.

Vous êtes plus au courant que moi de ce qu'a fait la Commission des Substances Explosives ; mais cependant il me semble qu'elle aurait son rôle tout marqué et qu'on ne pourrait guère ne pas le lui faire jouer. Vous dites que les services des poudres d'une part, ceux de l'artillerie de l'autre se sont avec raison estimés plus compétents qu'une réunion de personnes étrangères aux questions militaires. C'est parfaitement vrai et je voudrais que le nouveau laboratoire se consacraît exclusivement à des recherches proprement scientifiques relatives aux poudres mais dont les services compétents auraient ensuite à tirer les conséquences pratiques. Dans ces conditions, l'intervention de la C<sup>on</sup> des S<sup>ces</sup> E<sup>ves</sup> ne me paraît pas prêter aux critiques que vous formulez.

Cette 2<sup>de</sup> solution n'est d'ailleurs pas incompatible avec la 1<sup>re</sup> ; la C<sup>on</sup> des S E, jouerait auprès du directeur, qui aurait le commandement et la responsabilité, le rôle d'une espèce de Conseil de Perfectionnement. C'est le seul qui convienne à une Assemblée.

J'ai parlé lundi à Vieille ; d'abord surpris, il n'a plus fait d'objection de principe, à la condition qu'il s'agisse d'un laboratoire se bornant strictement à l'étude des questions scientifiques. Il paraît que quelque chose d'analogue existe à Woolwich, mais il n'a pu me donner de renseignement sur l'organisation ni sur les résultats.

Il est un autre point sur lequel il est nécessaire de porter votre attention. Quand nous aurons dépensé encore un peu de salive, nous nous apercevrons que nous ne sommes pas plus avancés qu'au début. Alors un grand nombre de membres de la Commission seront pris du désir d'aboutir et de « faire quelque chose. » Toute proposition faite à ce moment psychologique a des chances d'être adoptée. Il est à craindre, étant donné la composition de la C<sup>on</sup> que des propositions extrêmement dangereuses ne soient mises en avant. Si nous n'en avons aucune à leur opposer, nous risquons de les voir adoptées.

Évidemment, je ne vous proposerais pas de faire cette création uniquement « pour faire

quelque chose » ; je crois qu'elle peut être utile en soi ; mais elle le sera aussi si elle peut empêcher de « faire autre chose. »

Nous n'obtiendrons pas de la C<sup>on</sup> actuelle qu'elle se sépare en proclamant que tout est bien et qu'il n'y a rien à faire. Je crois qu'elle nous donnera plus facilement le satisfecit que nous lui demanderons, s'il lui est présenté comme accompagné de mesures qui lui paraîtront couvrir sa responsabilité.

Réfléchissez à cette question ; il est inutile de rien brusquer, nous ne sommes pas pressés ; l'essentiel est que nous nous mettions d'accord avant que Clémenceau ait vent de nos desseins.

Nous poursuivons le même but ; j'aime beaucoup Vieille qui est mon vieux camarade, et ce que je cherche à obtenir, c'est qu'il sorte de cette affaire avec les légitimes satisfactions qui lui sont dues. Or je crois que ce que je vous propose est un moyen de nous défendre contre les entreprises de l'industrie privée.

Votre bien dévoué confrère,  
Poincaré

**ALS 8p. Fonds H. Le Chatelier 29, Archives de l'Académie des sciences.**

<sup>1</sup>Voir la lettre de Le Chatelier du 22.10.1907 (§36.3).

## 36.5 Le Chatelier à Poincaré

Paris 27 Octobre 1907

Mon cher Président,

Je vous remercie de votre longue lettre et je commence à répondre à quelques points, mais je désirerais en causer avec vous un jour où vous disposeriez de quelque temps.<sup>1</sup>

Permettez moi de vous dire que je crois que vous n'êtes pas suffisamment au courant de deux points essentiels :<sup>2</sup>

1° Vous vous figurez la chimie bien plus avancée qu'elle ne l'est en réalité, vous la comparez à l'Astronomie et vous lui posez des problèmes qu'elle serait fort embarrassée de résoudre pour le moment.

Il faudrait par exemple, dites-vous, connaître le mécanisme de la décomposition des poudres. Mais il faudrait aussi connaître celui de la digestion des aliments ou simplement de la combustion de l'oxyde de carbone, réaction cependant bien simple. Le mélange de ce gaz avec l'oxygène quand il est sec et desséché sur l'acide sulfurique ou quand il est humide brûle de la même façon et pourtant le taux d'humidité a varié de 2% à moins de 0,1%. Si nous le dessechons sur l'acide phosphorique pendant huit jours il est incombustible. Quel est le mécanisme, nous l'ignorons absolument et ainsi pour les 90% des réactions chimiques. Ce sont des problèmes à l'étude qu'il serait très intéressant de résoudre mais il faudra sans doute en avoir résolu un grand nombre de cas simples avant de réussir pour les poudres.

Vous voudriez connaître la cause de l'emballement de la réaction. C'est un phénomène très fréquent, je puis vous citer l'action de l'acide oxalique sur le permanganate de potasse, la combustion du grisou et bien d'autres cas ; le plus souvent on n'en connaît pas

la cause. Je n'ai jamais pu y arriver pour le grisou et pourtant c'est un cas infiniment plus simple que celui des celluloses nitrées, sur la constitution chimique desquelles on ne sait rien.

Depuis vingt ans on imprime par an environ un millier de pages pour rendre compte des expériences faites sur des problèmes de cette nature. Le *Zeitschrift für Physikalische Chemie* est remplie d'études sur la vitesse des phénomènes chimiques et il n'en est à peu près rien sorti, de telle sorte que j'ai fini par me lasser de suivre ces études. Il faudra peut-être encore un siècle de travail, du train où cela va, pour liquider ces problèmes que vous voudriez voir résoudre instantanément. La situation pour nous est exactement celle où se trouverait un mécanicien connaissant la mécanique rationnelle et voulant l'appliquer aux machines sans connaître l'existence du frottement. Vous répondrez à cela que les mécaniciens ont bien étudié et mesuré le frottement et que les chimistes peuvent en faire autant. Mais il y a cette différence que le frottement en mécanique est un phénomène extraordinairement simple, ne dépendant que de trois variables : Pression, déplacement des points de contact et nature des surfaces frottantes ; tandis que le frottement chimique, au point où nous en sommes aujourd'hui, nous paraît dépendre d'un nombre énorme de variables, une centaine peut-être, dont le nombre se réduira, il faut l'espérer, mais aujourd'hui nous ne savons rien.

Sur vos autres desiderata les difficultés sont d'ordre différent. Vous voudriez voir analyser les brins en décomposition. La seule chose réellement intéressante est le début de la décomposition mais alors les changements de composition sont si faibles que l'analyse directe ne donnerait sans doute rien, car les méthodes de l'analyse organique ne comportent qu'une précision très limitée surtout en ce qui concerne le dosage de l'hydrogène et de l'azote, les deux éléments les plus intéressants. Je ne vois guère qu'un procédé d'analyse des gaz et vapeurs dégagées au début de la décomposition. Cela fait déjà l'objet d'un grand nombre de recherches. Il y a évidemment intérêt à les continuer, mais il ne faut pas espérer trouver devant soi un champ complètement neuf où les découvertes seront faciles. Il n'y a qu'à continuer ce qui a déjà été fait.

Pour finir les questions chimiques vous avez des doutes sur la façon de se comporter du tournesol à 110°. C'est au contraire une excellente température pour l'usage de ce réactif. C'est toujours ainsi qu'on l'emploie pour les dosages alcalimétriques pour se débarrasser de l'influence de l'acide carbonique que l'on expulse ainsi. Je ne vois pour le moment que la question de son état hygrométrique à étudier et je pense que la question est déjà à l'étude. Ou elle va l'être incessamment.

La grandeur de la dispersion vous préoccupe avec beaucoup de raison, mais c'est là une des plaies habituelles de tous les essais empiriques et malheureusement nous n'avons pas encore trouvé le moyen d'y échapper. Je vous ai cité en séance les essais de ciment, la question a été étudiée avec passion, car elle a une importance capitale pour un grand nombre de personnes et l'on n'a pu aboutir à rien jusqu'ici et pourtant cela semble *a priori* bien plus simple que dans le cas des poudres. Je vous enverrai quelques uns des articles que j'ai écrit sur ce sujet. Je vous montrerai les résultats des essais de fragilité sur l'acier, vous y verrez une dispersion bien autrement considérable. Là encore on n'a pas réussi, malgré de nombreux efforts à s'en débarrasser.

En résumé sur ce premier point mon objection est que vous comptez demander à votre



laboratoire, comme une chose toute naturelle de résoudre des problèmes qui pour nous équivalent un peu à la quadrature du cercle.

Le second point sur lequel je crois que vous n'êtes peut-être pas suffisamment renseigné est sur le mode de fonctionnement du laboratoire de Mr Vieille.<sup>3</sup> Je ne crois pas du tout que ce soit un laboratoire de contrôle de la fabrication. Je l'avais jusqu'ici exclusivement considéré comme un laboratoire de recherches, identique à celui que vous voulez y créer, à la seule différence que vous y introduirez des artilleurs à côté des ingénieurs des poudres et que sans doute vous le doterez mieux comme crédits. Peut-être me trompé je, mais jusqu'à mieux informé, je crois que les essais de contrôle de la fabrication des poudres B dans un laboratoire ne sont qu'un accessoire, résultant uniquement de ce fait qu'étant l'inventeur de ces poudres, il a tenu à garder la haute main sur le contrôle de leur fabrication pour s'assurer que tout se passe bien. C'est là qu'a été créée la bombe calorimétrique, les appareils pour l'étude du développement de la pression dans la combustion des explosifs, qu'ont été faites les recherches sur la combustion des mélanges gazeux, sur l'explosivité des solutions d'acétylène etc.

Des deux solutions dont vous parlez :

Laboratoire dirigé par Mr Vieille

Laboratoire dirigé par une commission

j'accepterai de suite la première solution, mais je la crois impossible. S'il y a un changement, il n'y en a qu'un de possible, c'est l'expulsion définitive de Mr Vieille de son laboratoire. Ce n'est pas pour autre chose que la commission a été créée. Ou du moins pour annihiler son laboratoire dans la mesure du possible. Vous savez sans doute comment et par qui la commission a été nommée. Vous ne deviez pas en être président. C'était Mr Berthelot qui était désigné, on comptait qu'il laisserait faire. Il ne faut pas croire que parce que vous arriverez avec un projet de laboratoire vous détournerez en prenant les devants les propositions différentes de tel ou tel membre. Il faut que les fabricants de canon puissent vendre à l'étranger la poudre employée par le gouvernement français. Il y aura ou il n'y aura pas une majorité dans la commission, mais ce n'est pas par des dérivatifs que vous esquiverez cette alternative, parce que vous êtes en présence de personnes qui savent ce qu'elles veulent et qui ont l'habitude de faire ce qu'elles veulent.

Si, réellement les questions chimiques vous semblent importantes à étudier, voici une solution très simple et qui peut être immédiatement mise en pratique. Nommer une sous commission présidée par vous et composée de MMs Vieille, Haller, Koehler et Moi, qui sommes les quatre seuls membres de la commission connaissant quelque chose à la chimie. On y discutera paisiblement les questions, on verra les résultats acquis et on tracera un programme de recherches qui sera effectué parallèlement dans les trois laboratoires de MMs Vieille, Haller et Koehler, en demandant des crédits spéciaux pour ces recherches. On pouvait faire cela dès le premier jour et aujourd'hui bien des points seraient élucidés ou, du moins on serait fixé sur la possibilité pratique de les élucider.<sup>4</sup>

Vous devriez demander à faire partie de la commission des substances explosives pour vous rendre compte de son fonctionnement. Elle se réduit pratiquement à MMs Vieille, Dautriche et le directeur de Sevran Livry : les autres membres opinent du bonnet sans trop savoir de quoi il s'agit.<sup>5</sup>

Veillez agréer, Mon cher Président, l'expression de mes sentiments tout dévoués.

H. Le Chatelier.

**TLS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Le Chatelier répond à la lettre que Poincaré lui envoie entre le 22 et le 26.10.1907 (§36.4).

<sup>2</sup>La réponse de Poincaré conteste cette opinion (§36.6).

<sup>3</sup>Il s'agit du Laboratoire central des poudres et salpêtres où travaillait Paul Vieille (1854–1934), membre de la section de mécanique, et inventeur (avec Marcelin Berthelot) en 1884 de la poudre sans fumée (poudres B).

<sup>4</sup>Albin Haller et Albert Koehler. Koehler (1861–1914) est un ancien élève (1881) de l'École polytechnique.

<sup>5</sup>Henri Joseph Dautriche (1876–1915) est ingénieur des poudres et salpêtres ; il est nommé à la commission des substances explosives en 1904 (Registre des matricules, Archives de l'École polytechnique). La poudrerie nationale de Sevran-Livry (Seine-Saint-Denis) sera fermée en 1973.

## 36.6 Poincaré à Le Chatelier

[Ca. 27.10–02.11.1907]

Mon cher Confrère,

Je ne suis pas aussi naïf que vous le croyez et je n'espère pas qu'on puisse instantanément découvrir les lois de la décomposition au point de vue physico chimique, c'est à dire connaître toutes les variables qui peuvent influencer sur la vitesse de réaction ; mais il me semble que nous ignorons non seulement les circonstances qui peuvent faire varier cette vitesse, mais la nature de la réaction elle-même. Il me semble qu'il ne serait pas inutile de faire l'analyse non pas élémentaire, mais immédiate de brins arrivés à différents degrés de décomposition, que cette décomposition ait été spontanée ou provoquée par chauffage plus ou moins prolongé. Le peu qu'on pourrait recueillir dans cette voie vaudrait mieux que rien.<sup>1</sup>

Votre argumentation me semble corroborer ma thèse ; plus le travail doit être long, plus il y a lieu de le commencer promptement puisqu'on ne saurait nier qu'il ne soit indispensable ; et puisque d'ailleurs il nous donnera déjà des fruits partiels appréciables longtemps avant d'être terminé.

D'autre part, comme ces fruits, même ceux que nous cueillerons les premiers, ne sauraient être immédiats, il faut que les travailleurs qui en seront chargés soient affranchis du souci de l'application immédiate, qui pèse forcément sur ceux qui sont astreints au service courant.

Quoiqu'il en soit, j'approuve votre projet de sous commission (Vieille, Haller, Le Chatelier, Köhler).<sup>2</sup> Elle pourra discuter avec calme et loin des causes multiples d'irritation, elle déterminera ce qui serait utile et ce qui serait possible ; je ne dis pas avec les ressources actuelles, (car alors tout le possible a été fait sans aucun doute) je veux dire avec les ressources nouvelles que l'on peut raisonnablement demander aux ministres.

Une fois ce programme tracé, vous verrez sans doute qu'il ne peut pas être réalisé avec les ressources actuelles, vous chercherez quels sont les moyens les plus prompts et les plus économiques de le réaliser et vous proposerez de les demander au ministre.

Je parlerai de votre projet à M. Haller, et s'il y acquiesce, nous pourrons y donner suite.

Permettez moi de vous dire que vous êtes trop pessimiste. Sur 13 membres de la Con, nous pouvons compter sur 6, Vieille, Gossot, Barral, Haller, vous et moi.<sup>3</sup> Mais vous

raisonnez comme si les 7 autres avaient un parti pris irréductible. Rien ne nous autorise à le supposer. Une concession faite à propos peut suffire pour nous rallier l'un d'entre eux et nous assurer la majorité.

Votre bien dévoué Confrère,  
Poincaré

**ALS 4p. Fonds H. Le Chatelier 29, archives de l'Académie des sciences.**

<sup>1</sup> Poincaré répond à la lettre de Le Chatelier du 27.10.1907 (§36.5).

<sup>2</sup> Paul Vieille, Albin Haller, Henri Le Chatelier, Albert Koehler.

<sup>3</sup> Hubert Gossot (1853–1935) est ancien élève de l'École polytechnique (1874), général d'artillerie coloniale, et membre adjoint de la commission des substances explosives (*Mémorial des poudres et salpêtres* 14, 1907–1908, 202). Barral est ingénieur des poudres et salpêtres.

## 36.7 Le Chatelier à Poincaré

Paris le 2 Novembre 1907

Mon Cher Président,

Je n'oserai plus vous écrire si vous interprétez ainsi mes opinions envoyées au courant de la plume. Vous pensez bien que si je vous avais cru aussi naïf que vous me reprochez de vous l'avoir dit, je me serais bien gardé d'exprimer aussi nettement ma façon de voir.<sup>1</sup>

Pour arriver au fond, c'est-à-dire à la seule question sérieuse, je me rallie absolument à votre proposition, non pas que j'aie grande confiance dans la persévérance des membres de ladite sous-commission, mais je reconnais qu'en raison de l'état de l'opinion publique, il faut avoir l'air de faire quelque chose et tâcher en faisant quelque chose de faire le moins de mal possible.

Mon opinion un peu catégorique sur différents membres de la commission est peut-être exagérée, je le désire ; elle repose sur des conversations que j'ai eues avec les uns et les autres. Un certain nombre d'entre eux ont une véritable haine à l'égard de M. Vieille, d'autres se contentent de le considérer comme un homme néfaste. Parmi les opposants, il y en a un que je crois jusqu'ici absolument de bonne foi et que je m'efforce de ramener à d'autres sentiments, c'est le Commandant Schwerer, qui me paraît représenter assez exactement l'opinion moyenne de la marine. L'amiral qui nous a reçus à Cherbourg m'a dit dans une conversation particulière que la Commission rendrait au pays un véritable service si elle arrivait à débarrasser la marine des poudres sans fumée !<sup>2</sup>

Pour vous donner par un exemple l'état d'esprit de quelques membres de la commission, je vous dirai que le capitaine Robert me prend toujours comme intermédiaire quand il y a à obtenir un renseignement du laboratoire des Poudres et Salpêtres, ne voulant pas se compromettre en le demandant directement à M. Vieille. Je m'occupe ainsi en ce moment de la question des régulateurs de température. Les Versaillais déclarent qu'ils ne peuvent pas régler à 25° près la température, bien qu'ils aient commandé au fournisseur de M. Vieille, un de ses appareils. Or le dit fournisseur chez lequel j'ai été pour élucider cette question m'a dit que le modèle fournit par lui à Versailles est celui que M. Vieille emploie pour les températures de 40° et qu'il ne peut aucunement convenir pour 110°. Deux minutes de conversation entre les intéressés auraient évité tout ce temps perdu.

Veillez agréer, Mon Cher Président, l'expression de mes sentiments tout dévoués.  
H. Le Chatelier

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Voir Le Chatelier à Poincaré, 27.10.1907 (§ 36.5) et la réponse de Poincaré (§ 36.6).

<sup>2</sup>Antoine Schwerer est officier de la Marine, chargé en 1896 de mesures du magnétisme terrestre en divers points du globe, à bord du *Dubordieu* (*Comptes rendus* 123, 1896, p. 1115).

## Chapitre 37

# Tullio Levi-Civita

Tullio Levi-Civita (1873–1941) est l'élève de Gregorio Ricci-Curbastro à Padua, où il soutient sa thèse en 1894. En 1900, il est nommé professeur de mécanique rationnelle à cette même université, avant d'être nommé professeur d'analyse supérieure à Rome en 1919. Entre-temps, en 1911, Levi-Civita est élu correspondant de la section de mécanique à l'Académie des sciences de Paris. Il devient professeur de mécanique rationnelle à Rome en 1924, et garde cette chaire jusqu'à son renvoi de l'université en 1938, à cause des lois raciales (*DSB*; Goodstein 1984; 1983; Nastasi et Tazzioli, 2005; Accademia dei Lincei, 1975).

Membre de la société italienne de physique pendant quarante ans, Levi-Civita passait autant de temps dans des réunions de physiciens que dans celles des mathématiciens. Sa correspondance avec Poincaré concerne surtout l'électrodynamique; à la différence de Poincaré, Levi-Civita croit qu'il n'y a pas de conflit entre les expériences de Victor Crémieu (§ 17) et la théorie de Maxwell, partageant en cela l'opinion d'Alfred Potier (§ 48.6).

## 37.1 Poincaré à Levi-Civita

[Ca. 07.1900]<sup>a</sup>

Mon cher Collègue,

Les considérations que vous me présentez me paraissent fort intéressantes ; il est fâcheux que vous n'ayez pas pu démontrer la convergence. Peut-être pourrez-vous y arriver pour un domaine suffisamment petit, en supposant la longueur d'onde donnée de telle façon que  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  soient des fonctions périodiques du temps de période donnée.<sup>1</sup>

Votre bien dévoué Collègue,  
Poincaré

**ALS 2p. Accademia Nazionale dei Lincei. Transcrite dans Levi-Civita (2003, 241).**

<sup>1</sup>Il s'agit peut-être de la critique portée par Levi-Civita (1900) sur la définition de la stabilité de Poincaré (1892–99, II, 368–375), présentée par Appell à l'Académie des sciences le 16.07.1900.

## 37.2 Levi-Civita à Poincaré

Padoue le 11 décembre 1901  
(Université-Padoue)

Illustre Monsieur,

Je viens de lire votre brillant article dans la *Revue générale des Sciences*.<sup>1</sup>

Permettez moi une petite remarque à propos de la dernière expérience de M. Crémieu.

Il s'agit là substantiellement d'une charge  $m$ , qui va de  $B$  en  $B'$  par convection et revient de  $B'$  en  $B$  par conduction.



La trajectoire de la charge pourra être assimilée au segment rectiligne  $BB'$ , de longueur  $\ell$ .

Soit  $P$  un point quelconque à la distance  $\overline{PQ} = d$  de  $BB'$ .

D'après la théorie ordinaire\*, la force magnétique, due à la convection, atteint sa valeur maximum  $F$  lorsque la charge mobile passe en  $Q$ , et est alors

$$F = \frac{\alpha}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \frac{m}{d^2} **$$

où l'on suppose  $m$  exprimé en unités électrostatiques et  $\alpha = \frac{v}{V}$  est le rapport entre la vitesse de convection  $v$  et celle de la lumière  $V$ .

Nous en concluons :

a) L'effet magnétique de l'allée (courant de convection) au point  $P$  ne peut dépasser celui d'une force

$$F = \frac{\alpha}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \frac{m}{d^2}$$

<sup>a</sup>Le manuscrit porte une annotation de main inconnue : "1896".

agissante pendant un temps  $\tau = \frac{\ell}{v}$ .

Cherchons maintenant à évaluer la force magnétique  $F_1$ , due au courant de retour.

Si  $P$  est assez éloigné des extrémités  $B, B'$ , on pourra traiter le courant en question (dans le très petit intervalle de temps  $\tau_1$ , pendant lequel il se produit) comme un courant constant ayant son siège sur la droite indéfinie  $BB'$  : L'intensité serait, en unités électrostatiques,  $\frac{m}{\tau_1}$  ; elle est donc, en unités électromagnétiques,  $\frac{m}{\sqrt{\tau_1}}$ , ce qui donne pour la force magnétique  $F_1$  au point  $P$  :

$$F_1 = \frac{2m}{V\tau_1} \frac{1}{d}$$

On peut bien admettre que la vitesse de la décharge soit de l'ordre de  $V$  et par suite que le rapport de  $\frac{\ell}{\tau_1}$  à  $V$  soit un nombre  $k$  assez peu différent de 1. Il vient donc pour expression de la force :

$$F_1 = \frac{2k}{\ell} \frac{m}{d} = 2k \frac{d}{\ell} \frac{m}{d^2} ;$$

pour sa durée  $\tau_1 = \frac{\ell}{kV}$ .

En somme :

b) L'effet magnétique du retour (courant de conduction) au point  $P$  est à fort peu près celui d'une force

$$F_1 = 2k \frac{d}{\ell} \frac{m}{d^2},$$

agissante pendant un temps  $\tau_1 = \frac{\ell}{kV}$ . La force  $F_1$  est bien plus grande que  $F$  : En supposant par exemple que  $d$  soit un centième de  $\ell$ ,  $v = 3\text{Km}$  par seconde,  $2k = 1$ , ce qui est peut-être déjà assez exagéré, nous aurons

$$\alpha = \frac{3}{3.10^5} = 10^{-5}, \quad \frac{F_1}{F} = 1000,$$

à fort peu près.

Il va sans dire que  $F_1$  agit pendant un temps presque d'autant plus court, mais les expérimentateurs savent bien que le produit force  $\times$  durée étant constant, on obtient des effets appréciables, seulement lorsque le premier facteur est assez grand : C'est évident qu'il en doit être ainsi, au point de vue mécanique, car le frottement au repos maintient l'équilibre, jusqu'à ce que la force n'atteint pas une certaine limite.

Dans notre cas  $F$  et  $F_1$  sont dans le rapport de 1 à 1000. Rien d'étonnant donc que  $F_1$  soit supérieure à la dite limite, pendant que  $F$  en reste au dessous.

Si je ne me trompe pas, on a ici une justification théorique des résultats observés par M. Crémieu.

Je comprends bien que c'est très indiscret de mon côté de vous avoir entretenu avec une remarque si peu originale. Votre temps est si précieux pour la Science ! Fort heureusement que le *Princeps Mathematicorum* est à nos jours un souverain constitutionnel et qu'il ne nie pas une audience bienveillante au plus humble de ses sujets.

Veuillez agréer les sentiments de mon profond respect.

Votre bien dévoué,

T. Levi-Civita

\* Comme vous le remarquez, il n'est pas nécessaire d'expliciter laquelle. Les théories de Hertz et de Lorentz s'accordent sur ce point ; et il en est de même pour celle de Helmholtz, aux termes du second ordre en  $\frac{1}{r}$  près. (*Nuovo Cimento*, Août 1897)<sup>2</sup>

\*\* Voir par exemple Righi, « Sui campi elettromagnetici, ecc. », *Memorie dell'Accademia di Bologna*, 24 Février 1901 ; ou *Nuovo Cimento*, Août 1901.<sup>3</sup>

**ALS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1901b). Levi-Civita publiera une étude du champ électrique engendré par la translation d'une charge électrique (1902b), dont certains résultats sont communiqués dans cette lettre. Il étudiera, en outre (1902a), l'effet de l'écran utilisé par V. Crémieu (§17), effet déjà remarqué par Alfred Potier (§48.6) et Augusto Righi (1902).

<sup>2</sup>Levi-Civita (1897).

<sup>3</sup>Righi (1901b,c).

### 37.3 Poincaré à Levi-Civita

[14.12.1901]<sup>b</sup>

Mon cher Collègue,

Dans l'expérience de Crémieu, la charge n'est pas concentrée en un point, elle est répartie sur toute la surface d'un secteur d'étain ; les intervalles qui séparent ces secteurs sont petits par rapport aux dimensions des secteurs eux-mêmes ; le défilé des charges de ces secteurs peut alors être assimilé à un courant continu, le courant de retour est continu également. Son débit est égal et de signe contraire. Il ne s'agit que de son débit et la vitesse importe peu.<sup>1</sup>

Il n'y a pas une décharge disruptive unique.

D'ailleurs votre explication ne s'appliquerait pas aux phénomènes d'induction.

Je ne crois pas que ce soit là la véritable explication.

Ou bien, comme le prétend Crémieu, la théorie est en défaut.

Ou bien, comme le prétendent ses adversaires, il y a une fuite dont il ne s'est pas aperçu.

Il est en train de refaire son expérience, nous verrons.

Votre bien dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 2p. Accademia Nazionale dei Lincei. Transcrite dans Levi-Civita (2003, 244).**

<sup>1</sup>Poincaré corrige l'hypothèse du départ de la lettre du 11.12.1901 de Levi-Civita (§37.2).

---

<sup>b</sup>Cachet de la poste.



## 37.4 Poincaré à Levi-Civita

[26.07.1908]

Mon cher Collègue,

Je serai très heureux de recevoir le manuscrit de M. G. Silva.<sup>1</sup> Le mieux est qu'il me l'envoie à mon adresse ordinaire 63 rue Claude Bernard.<sup>2</sup>

Votre bien dévoué collègue,

Poincaré

**ALS. Accademia Nazionale dei Lincei. Transcrite dans Levi-Civita (2003, 244).**

<sup>1</sup>Giovanni Silva (1882–1957) est assistant de géodésie à Padoue (Levi-Civita, 2003, 244n1).

<sup>2</sup>Aucun manuscrit de cet auteur ne sera publié dans les *Comptes rendus* de 1908.

## Chapitre 38

# Hendrik Antoon Lorentz

Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928) commence ses études universitaires à Leyde en 1870, et il obtient le B.Sc. de mathématiques et physique l’année suivante. Il soutient sa thèse sur la théorie de la réflexion et de la réfraction de la lumière en 1875 à Leyde, où il devient titulaire de la première chaire de physique théorique aux Pays-Bas en 1878. C’est là qu’il effectue ses travaux sur la théorie de l’électron qui lui valent le prix Nobel de physique qu’il partage avec son ancien élève Pieter Zeeman en 1902. Malgré l’offre de chaires prestigieuses à l’étranger, Lorentz reste à Leyde jusqu’à sa retraite en 1912. Il devient alors secrétaire de la société hollandaise des sciences, et directeur du musée Teyler à Harlem. Il préside le premier conseil Solvay (§ 53) en 1911 (auquel participe Poincaré), ainsi que tous les conseils jusqu’à sa mort (*DSB* ; De Haas-Lorentz, 1957).

Dès sa thèse, Lorentz est un partisan de la théorie de Maxwell. Pourtant, au début des années 1890, il introduit une théorie d’un système de corpuscules microscopiques électrisés qui se déplacent dans l’éther absolu sans entraînement, une sorte de synthèse de la théorie de Maxwell et celle, plus ancienne, de Wilhelm Weber. Lorentz veut réduire tout phénomène électromagnétique aux interactions des corpuscules électrisés à travers l’éther stationnaire. Il arrive à déduire le coefficient d’entraînement de Fresnel, qui paraît dans sa théorie comme une conséquence du retardement des forces. Les équations du système en mouvement diffèrent de celles d’un système au repos par rapport à l’éther, et elles sont moins maniables, mais Lorentz contourne cette difficulté avec son théorème des états correspondants. Ce théorème repose sur l’introduction d’une variable auxiliaire, le “temps local” (*Ortszeit*),  $t' = t - vx/c^2$ , où  $t$  désigne le temps universel, et  $v$  la vitesse de translation du système par rapport à l’éther. Les équations des champs du système en mouvement “correspondent” à celles d’un état fictif, moyennant la transformation de la coordonnée temporelle, et les équations de l’état fictif ont la même forme que celles du système au repos. Il s’ensuit du même coup que le mouvement de la terre n’influe pas sur les phénomènes optiques terrestres jusqu’au premier ordre en  $v/c$  (Buchwald, 1988, 64). Peu de temps après la découverte par Zeeman (§ 61) de la division des raies d’émission d’un gaz ionisé sous l’action d’un champ magnétique (effet Zeeman), Lorentz explique l’effet à partir de sa théorie. D’autres confirmations de la nature corpusculaire de l’élec-

tricité sont apportées en 1897 par Emil Wiechert et J.J. Thomson, montrant l'intérêt de la théorie des "électrons" de Lorentz. A partir de 1899, cette théorie est au centre d'un projet de recherche, qui vise la réduction de toutes les forces aux seules forces électromagnétiques, ou ce qu'on appelle l'image électromagnétique du monde (McCormmach, 1970b).

Poincaré (1901a) analyse les travaux de Lorentz dans ses cours dès 1899. Il considère la théorie de Lorentz supérieure à ses concurrentes, dont celles de Hertz (§ 30), Larmor (§ 34), et Helmholtz. Poincaré observe que dans la théorie de Lorentz, la validité du principe de relativité des phénomènes optiques dépend de l'introduction du temps local. Lors du jubilé du doctorat de Lorentz, Poincaré (1900a) invente un protocole qui définit le sens physique de cette coordonnée, selon lequel des observateurs en mouvement commun par rapport à l'éther règlent leurs montres en échangeant des signaux optiques, sans corriger pour l'effet du mouvement. Le même protocole sera employé par Albert Einstein (1905) afin de définir le temps relatif.

Toutes les lettres transcrites ici concernent la théorie des électrons de Lorentz. Trois entre elles ont été rédigées par Poincaré pendant le mois de mai 1905, lorsqu'il découvre les fondements de la théorie de la relativité. Lorentz ne répond qu'une fois pendant cette période, et sa lettre n'a pas été retrouvée. Les lettres de Poincaré, et une lettre d'Einstein de la même époque (1993, 31–32), sont les seules sources manuscrites qui portent directement sur la découverte de la relativité.

La correspondance entre Poincaré et Lorentz s'accompagne de trois documents : une lettre de soutien à la candidature de Lorentz pour le prix Nobel de physique de 1902 (§ 62.7), qui sera décerné à Lorentz et Zeeman ; un rapport (§ 62.29) sur Lorentz du 31.01.1910, rédigé en vue de son élection comme membre associé étranger à l'Académie des sciences ; et une lettre de soutien de la candidature de Poincaré pour le prix Nobel de physique de 1910, de Lorentz et Zeeman (§ 62.27). On peut consulter également l'avis de Lorentz sur deux mémoires de Poincaré à propos de la théorie de la relativité et la théorie des quanta (1921), réédité dans les *Œuvres* de Poincaré (1916–1956, IX, 683–695).

## 38.1 Lorentz à Poincaré

Leiden, le 20 janvier 1901

Monsieur et très honoré collègue,

Permettez moi de vous remercier bien sincèrement de la part que vous avez bien voulu prendre au recueil de travaux que m'a été offert à l'occasion du 25<sup>e</sup> anniversaire de mon doctorat.<sup>1</sup> J'ai été profondément touché de ce que tant d'illustres savants ont choisi ce jour pour me témoigner leur sympathie et l'intérêt qu'ils prennent à mes études, malgré l'imperfection des résultats auxquels elles m'ont conduit. Cette imperfection est telle que je n'ose presque pas regarder comme un signe d'approbation le livre qu'on m'a dédié ; j'y verrai plutôt un encouragement qui m'est très précieux.

Comme votre jugement a, à mes yeux, une très grande importance, vous m'avez particulièrement obligé par le choix de votre sujet et par les paroles qui précèdent votre article.

J'ai suivi vos raisonnements avec toute l'attention qu'ils demandent et je sens toute la force de vos remarques. Je dois vous avouer qu'il m'est impossible de modifier la théorie de telle façon que la difficulté que vous signalez disparaisse.<sup>2</sup> Il me semble même guère probable qu'on puisse y réussir ; je crois plutôt — et c'est aussi le résultat auquel tendent vos remarques — que la violation du principe de réaction est nécessaire dans toutes les théories qui peuvent expliquer l'expérience de Fizeau. Mais faut-il en vérité que nous nous en inquiétions ? Il y a un certain rapport entre vos considérations et une question qui a été soulevée, comme vous savez, par Helmholtz dans un de ses derniers mémoires. En effet, vos formules démontrent que l'éther contenu dans une surface fermée ne sera pas en équilibre sous l'influence des pressions de Maxwell exercées à cette surface, dès que le vecteur de Poynting est une fonction du temps. De ceci, Helmholtz tire la conclusion que l'éther sera mis en mouvement dans un tel cas, et il cherche à établir les équations qui déterminent ce mouvement.<sup>3</sup>

J'ai préféré une autre manière de voir. Ayant toujours en vue les phénomènes de l'aberration, j'ai admis que l'éther est absolument immobile — je veux dire que ses éléments de volume ne se déplacent pas, bien qu'ils puissent être le siège de certains mouvements internes. Or, si un corps ne se déplace jamais, il n'y a aucune raison pour laquelle on parlerait de forces exercées sur ce corps. C'est ainsi que j'ai été amené à ne plus parler de forces qui agissent sur l'éther.

Je dis que l'éther agit sur les électrons, mais je ne dis pas qu'il éprouve de leur côté une réaction ; je nie donc le principe de la réaction dans ces actions élémentaires. Dans cet ordre d'idée je ne puis pas non plus parler d'une force exercée par une partie de l'éther sur l'autre ; les pressions de Maxwell n'ont plus d'existence réelle et ne sont que des fictions mathématiques qui servent à calculer d'une manière simple la force qui agit sur un corps pondérable. Évidemment, je n'ai plus à me soucier de ce que les pressions qui agirait à la surface d'une portion limitée de l'éther ne seraient pas en équilibre.

Quant au principe de la réaction, il ne me semble pas qu'il doive être regardé comme un principe fondamental de la physique. Il est vrai que dans tous les cas où un corps acquiert une certaine quantité de mouvement  $a$ , notre esprit ne sera pas satisfait tant que nous ne puissions indiquer un changement simultané dans quelque autre corps, et que dans tous les phénomènes dans lesquels l'éther n'intervient pas, ce changement consiste dans l'acquisition d'une quantité de mouvement  $-a$ . Mais je crois qu'on pourrait être également satisfait si ce changement simultané ne fût pas lui-même la production d'un mouvement. Vous avez déduit la belle formule<sup>4</sup>

$$\sum M v_x + \int d\tau(\gamma g - \beta h) = \text{Const.}$$

Il me semble qu'on pourrait se borner à considérer

$$\int d\tau(\gamma g - \beta h), \quad \int d\tau(\alpha h - \gamma j), \quad \int d\tau(\beta j - \alpha g)$$

comme des quantités dépendantes de l'état de l'éther qui sont pour ainsi dire „équivalentes“ à une quantité de mouvement.<sup>5</sup> Votre théorème nous donne pour toute modifica-

tion de la quantité de mouvement de la matière pondérable une modification simultanée de cette quantité équivalente ; je crois qu'on pourrait bien se contenter de cela.

Je ne veux pas prétendre que cette manière de voir soit aussi simple qu'on pourrait le désirer ; aussi n'aurais-je pas été conduit à cette théorie si les phénomènes de l'aberration ne m'y eussent pas forcé. Du reste, il va sans dire que la théorie ne doit être considérée que comme provisoire. Ce que je viens d'appeler „équivalence“ pourra bien un jour nous apparaître comme une „identité“ ; cela pourrait arriver si nous parvenons à considérer la matière pondérable comme une modification de l'éther lui-même.<sup>6</sup>

Il est presque inutile de dire qu'on pourrait aussi se tirer d'embarras en attribuant à l'éther une masse infiniment (ou très) grande. Alors les électrons pourraient réagir sur l'éther sans que ce milieu se mit en mouvement. Mais cette issue me semble assez artificielle.

Je désirerais bien vous faire encore quelques remarques au sujet de la compensation des termes en  $v^2$ , mais cette lettre deviendrait trop longue.<sup>7</sup> J'espère donc que vous me permettrez de revenir sur cette question une autre fois. Il y a là encore bien des difficultés ; vous pourriez peut être parvenir à les surmonter.

Veuillez agréer, Monsieur et très honoré collègue, l'assurance de ma sincère considération.

Votre bien dévoué,

H.A. Lorentz

#### ALSX 8p. Archives Henri Poincaré. Transcrite par A.I. Miller (1986, 70–71).

<sup>1</sup>Poincaré (1900a) contribue à ce recueil, en même temps que Georges Sagnac (§ 51.4), Emil Wiechert, Wilhelm Wien, Emil Cohn et d'autres physiciens.

<sup>2</sup>Dans sa contribution au *Festschrift*, Poincaré (1900a) affirme que la théorie de Lorentz prévoit, dans le cas d'un oscillateur de Hertz situé au foyer d'un miroir parabolique, une certaine force (équivalente à la force de Liénard), dont l'existence constitue une violation du principe de relativité au premier ordre d'approximation en  $v/c$ . Cette contradiction sera éliminée par Poincaré en 1905, en supposant que toutes les forces, y comprises celles d'inertie, transforment comme les forces électromagnétiques. A ce propos, voir Darrigol (1995; 2000b).

<sup>3</sup>Voir (Helmholtz, 1893). Helmholtz est mort avant d'avoir achevé ses recherches sur le mouvement de l'éther ; pour une discussion, voir Darrigol (2000a, 322).

<sup>4</sup>Voir Poincaré (1901a, 255). Dans cette formule,  $f$ ,  $g$ ,  $h$  sont les composantes du déplacement électrique,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  les composantes de la force magnétique.

<sup>5</sup>Il faut lire :  $\int d\tau(\alpha h - \gamma f) = \text{const.}$ , et  $\int d\tau(\beta f - \alpha g) = \text{const.}$

<sup>6</sup>La réduction de tous les phénomènes physiques aux interactions de l'éther et des électrons, proposé par Wilhelm Wien, donnait lieu à une image électromagnétique du monde. A propos de ce programme de recherche, qui cherche à réduire la matière pondérable à ces interactions, voir McCormach (1970b), Darrigol (2000a, 360), et Seth (2004).

<sup>7</sup>Dans l'expérience de Michelson et Morley (1887), le déphasage entre la lumière se propageant parallèlement au mouvement de la terre par rapport à l'éther et se propageant perpendiculairement à cette direction aurait dû être proportionnel à  $v^2/c^2$  (en notation moderne). Dans un premier temps Lorentz explique le résultat négatif de cette expérience par un effet de compensation : les bras de l'interféromètre se contractent par un facteur  $1/\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  dans la direction de leur mouvement  $v$  par rapport à l'éther. Cette contraction correspond pour lui (1892; 1895) à une modification des forces moléculaires déterminant la forme de tout corps en mouvement par rapport à l'éther. Pourtant, selon M. Janssen (1995, 199), Lorentz (1899a) s'attache à montrer les effets liés à une transformation générale des coordonnées qui entraîne une nouvelle conception de la masse.

## 38.2 Poincaré à Lorentz

[Ca. 21–27.04.1905]

Mon cher Collègue,

J'avais espéré jusqu'au dernier moment pouvoir faire le voyage de Paris pour assister à votre réception à la Société de Physique, chez Foyot.<sup>1</sup> Malheureusement il me survient un empêchement. Je le regrette bien vivement, j'espère pourtant vous voir demain à l'Académie. Je vous remercie des brochures que vous m'avez envoyées dernièrement et qui sont du plus haut intérêt.<sup>2</sup>

Votre bien dévoué Collègue,  
Poincaré

**ALS 1p. Papers of prof. dr. H.A. Lorentz (1853–1928), inv. nr. 62, Noord-Hollands Archief.**

<sup>1</sup>Le restaurant Le Foyot se trouvait à l'angle de la rue de Vaugirard et de la rue de Tourmon.

<sup>2</sup>Il s'agit peut-être de Lorentz (1904b,a, 1905a).

## 38.3 Poincaré à Lorentz

[Ca. 05.1905]

Mon cher Collègue,

J'ai énormément regretté les circonstances qui m'ont empêché d'abord d'entendre votre conférence et ensuite de causer avec vous pendant votre séjour à Paris.<sup>1</sup>

Depuis quelque temps j'ai étudié plus en détail votre mémoire *electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of Light*, mémoire dont l'importance est extrême et dont j'avais déjà cité les principaux résultats dans ma conférence de St. Louis.<sup>2</sup> Je suis d'accord avec vous sur tous les points essentiels ; cependant il y a quelques divergences de détail.

Ainsi page 813, au lieu de poser :

$$\frac{1}{k\ell^3} \cdot \varrho = \varrho'; \quad k^2 u_x = u'_x; \quad k^2 u_y = u'_y$$

il me semble qu'on doit poser :

$$\frac{1}{k\ell^3} \varrho(1 + \varepsilon v_x) = \varrho' \quad \frac{1}{k\ell^3} \varrho(v_x + \varepsilon) = \varrho' u'_x$$

où  $\varepsilon = -\frac{w}{c}$  ou  $\varepsilon = -w$  si nous choisissons les unités de telle façon que  $c = 1$ .

Cette modification me semble s'imposer si l'on veut que la charge apparente de l'électron se conserve.<sup>a</sup>

Les formules (10) page 813 se trouvent alors modifiées et je trouve pour le dernier terme au lieu de<sup>3</sup>

$$\ell^2 \frac{w}{c^2} (u'_y d'_y + u'_z d'_z), \quad -\frac{\ell^2 w}{k c^2} u'_x d'_y, \quad -\frac{\ell^2 w}{k c^2} u'_x d'_z$$

<sup>a</sup>Le mot "apparente" est un rajout.

je trouve

$$\ell^2 \frac{w}{c^2} (u'_x d'_x + u'_y d'_y + u'_z d'_z), \quad 0, \quad 0$$

C'est la force de Liénard, que vous trouvez aussi mais avec des différences. Et alors la question se pose de savoir si cette force est ou non compensée.<sup>4</sup>

Ceci montre qu'entre les forces réelles  $X, Y, Z$  et les forces apparentes  $X', Y', Z'$  il y a les relations

$$X' = A \left( X + \varepsilon \sum X v_x \right), \quad Y' = B y, \quad Z' = B Z$$

$A$  et  $B$  étant des coeff. et  $A\varepsilon \sum X v_x$  représentant la force de Liénard.

Si toutes les forces sont d'origine électrique les conditions d'équilibre (ou du principe de d'Alembert modifié) donnent

$$X = Y = Z = 0$$

d'où

$$X' = Y' = Z' = 0.$$

Si toutes les forces ne sont pas d'origine électrique, il y aura encore compensation pourvu qu'elles se comportent toutes comme si elles étaient d'origine électrique.

Mais il y a autre chose.

Vous supposez  $\ell = 1$ .

Langevin suppose  $k\ell^3 = 1$ .

J'ai essayé  $k\ell = 1$  pour conserver l'unité de temps, mais cela m'a conduit à des conséquences inadmissibles.<sup>5</sup>

D'un autre côté j'arrive à des contradictions (entre les formules de l'action et de l'énergie) avec toutes les hypothèses autres que celles de Langevin.<sup>6</sup>

Le raisonnement par lequel vous établissez que  $\ell = 1$  ne me paraît pas concluant, ou plutôt il ne l'est plus et laisse  $\ell$  indéterminé quand je vois le calcul en modifiant comme je vous l'ai dit les formules de la page 813.<sup>7</sup>

Que pensez-vous de cela, voulez-vous que je vous communique plus de détails ou ceux que je vous ai donnés vous suffisent-ils.<sup>8</sup>

Excusez moi en tout cas d'abuser de votre temps.

Votre bien dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 3p. H.A. Lorentz papers, inv. nr. 62, Noord-Hollands Archief. Reproduite par A.I. Miller (1980, 78–78).**

<sup>1</sup>Par lettre du 18.02.1905, Henri Abraham invita Lorentz à Paris, au nom de la société française de physique (H.A. Lorentz papers, Noord-Hollands Archief). Sa conférence (1905b) sur la thermodynamique et les théories cinétiques a été prononcée le 27.04.1905. Poincaré n'a pas assisté à la réception de la société en honneur de Lorentz (§ 38.2).

<sup>2</sup>Lorentz (1904a); Poincaré (1904c). Dans cette nouvelle théorie Lorentz écrit à nouveau les équations de Maxwell dans le système de coordonnées  $x, y, z$  lié à la terre, avec un changement de variables équivalent (à un facteur près) à celui de (1899a).

<sup>3</sup>Ces formules donnent les composantes de la force due à l'action de l'éther sur une charge unité ; les composantes du déplacement électrique sont désignées par  $d_x, d_y, d_z$ .

<sup>4</sup>Voir Liénard (1898, 323–324), et Poincaré (1901a, 540-543). Alfred Liénard, professeur à l'École des mines de Saint Étienne, étudie la manière dont la force de Lorentz se transforme de  $\vec{f}$  en  $\vec{f}'$  lorsque l'on passe d'un observateur lié à l'éther à un observateur lié à la terre. Il trouve :  $\vec{f}' - \vec{f} = -\frac{1}{c^2} \vec{u}(\vec{j} \cdot \vec{E})$  où  $\vec{u}$  est la vitesse de la terre,  $\vec{j}$  la densité de courant et  $\vec{E}$  le champ électrique. Sur le rapport qu'établit Poincaré entre la force de Liénard et l'inertie de l'électron voir Darrigol 2000b, 146).

<sup>5</sup>Ce modèle correspond à une sphère rigide, comme celui proposé par Max Abraham (1902).

<sup>6</sup>Le modèle d'électron proposé indépendamment par Alfred Bucherer et Paul Langevin est déformable mais à volume constant (Bucherer 1904 ; Langevin 1905, 267). Ce modèle est compatible avec l'image électromagnétique du monde, mais il est en conflit avec le principe de relativité.

<sup>7</sup>Poincaré (§ 38.4) établit  $\ell = 1$  en imposant une structure de groupe sur les transformations.

<sup>8</sup>Lorentz répond à Poincaré selon (§ 38.4), mais sa lettre nous manque.

## 38.4 Poincaré à Lorentz

[Ca. 05.1905]

Mon cher Collègue,

Merci de votre aimable lettre.<sup>1</sup> Depuis que je vous ai écrit mes idées se sont modifiées sur quelques points. Je trouve comme vous  $\ell = 1$  par une autre voie.

Soit  $-\varepsilon$  la vitesse de translation celle de la lumière étant prise pour unité.

$$k = (1 - \varepsilon^2)^{-\frac{1}{2}}$$

On a la transformation

$$\begin{aligned} x' &= k\ell(x + \varepsilon t), & t' &= k\ell(t + \varepsilon x) \\ y' &= \ell y, & z' &= \ell z \end{aligned}$$

Ces transformations forment un groupe. Soient deux transformations composantes correspondant à

$$k, \quad \ell, \quad \varepsilon$$

et

$$k', \quad \ell', \quad \varepsilon'$$

leur résultante correspondra à

$$k'', \quad \ell'', \quad \varepsilon''$$

où :

$$k'' = (1 - \varepsilon''^2)^{-\frac{1}{2}}, \quad \ell'' = \ell\ell', \quad \varepsilon'' = \frac{\varepsilon + \varepsilon'}{1 + \varepsilon\varepsilon'}$$

Si nous voulons maintenant prendre :

$$\ell = (1 - \varepsilon^2)^m, \quad \ell' = (1 - \varepsilon'^2)^m$$

nous n'aurons :

$$\ell'' = (1 - \varepsilon''^2)^m$$



que pour  $m = 0$ .<sup>2</sup>

D'un autre côté je ne trouve d'accord entre le calcul des masses par le moyen des quantités de mouvement électromagnétique et par le moyen de la moindre action, et par le moyen de l'énergie que dans l'hypothèse de Langevin.<sup>3</sup>

J'espère tirer bientôt au clair cette contradiction, je vous tiendrai au courant de mes efforts.<sup>4</sup>

Votre bien dévoué Collègue,  
Poincaré

**ALS 2p. H.A. Lorentz papers, inv. nr. 62, Noord-Hollands Archief. Reproduite par A.I. Miller (1980, 79–80).**

<sup>1</sup>La lettre de Lorentz nous manque.

<sup>2</sup>Poincaré (1906f, § 4) démontrera la valeur de  $\ell$  par une méthode semblable. Il en proposera alors une deuxième démonstration, dans laquelle toute transformation du groupe peut être regardée comme une rotation, suivie par une transformation de la forme

$$x' = k\ell(x + \varepsilon t), \quad y' = \ell y, \quad z' = \ell z, \quad t' = k\ell(t + \varepsilon x),$$

suivie par une rotation. Sur cette démonstration, voir Zahar (1989, 188–192).

<sup>3</sup>Une contradiction dans la valeur de la masse de l'électron déformable de Lorentz avait été signalée par Max Abraham (1904), comme l'observe McCommach (1970a, 51n26). Alors que Poincaré ne parle ici que du modèle d'électron de Langevin, il comparera bientôt les modèles de Max Abraham, de A.H. Bucherer et Paul Langevin, et de Lorentz, et trouvera (1906f, § 6) que si toutes les forces sont d'origine électromagnétique, les électrons de Abraham et de Bucherer-Langevin sont cohérents, mais l'électron de Lorentz ne l'est pas. A ce propos, voir aussi (§ 38.5), et le commentaire de A.I. Miller (1973).

<sup>4</sup>Poincaré présente ses résultats (1905d) à l'Académie des sciences le 5 juin ; ses démonstrations (1906f) seront publiées en janvier 1906.

## 38.5 Poincaré à Lorentz

[Ca. 05.1905]

Mon cher Collègue,

J'ai continué les recherches dont je vous avais parlé.<sup>1</sup> Mes résultats confirment pleinement les vôtres en ce sens que la compensation parfaite (qui empêche la détermination expérimentale du mouvement absolu) ne peut se faire complètement que dans l'hypothèse  $\ell = 1$ . Seulement pour que cette hypothèse soit admissible, il faut admettre que chaque électron est soumis à des forces complémentaires dont le travail est proportionnel aux variations de son volume.

Ou si vous aimez mieux, que chaque électron se comporte comme s'il était une capacité creuse soumise à une pression interne constante (d'ailleurs négative) et indépendante du volume.

Dans ces conditions, la compensation est complète.<sup>2</sup>

Je suis heureux de me trouver en parfait accord avec vous et d'être arrivé ainsi à l'intelligence parfaite de vos beaux travaux.

Votre bien dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 2p. H.A. Lorentz papers, inv. nr. 62, Noord-Hollands Archief. Reproduite par A.I. Miller (1980, 81–82).**

<sup>1</sup>Voir (§ 38.4).

<sup>2</sup>L'électron déformable de Lorentz devient stable, selon Poincaré, quand on admet "une sorte de pression constante extérieure" (1905d, 1506) ; voir aussi (1906f, 130). Cette pression, qui doit avoir une origine non-électromagnétique, sera appelée "pression de Poincaré." Pour des détails, voir Cuvaj (1970, App. 10), A.I. Miller (1981, 382n29), S. Walter (2007a), et la présentation canonique de Feynman (1963–1965, II, 28-4/8).

## 38.6 Lorentz à Poincaré

Leiden, le 8 mars 1906

Monsieur et très honoré collègue,

C'est déjà trop longtemps que j'ai négligé de vous remercier de l'important mémoire sur la dynamique de l'électron que vous avez bien voulu m'envoyer. <sup>1</sup> Inutile de vous dire que je l'ai étudié avec le plus grand intérêt et que j'ai été très heureux de voir mes conclusions confirmées par vos considérations. Malheureusement mon hypothèse de l'aplatissement des électrons est en contradiction avec les résultats des nouvelles expériences de M. Kaufmann et je crois être obligé de l'abandonner ; je suis donc au bout de mon latin et il me semble impossible d'établir une théorie qui exige l'absence complète d'une influence de la translation sur les phénomènes électromagnétiques et optiques. <sup>2</sup>

Je serais très heureux si vous arriviez à éclaircir les difficultés qui surgissent de nouveau. <sup>3</sup> Veuillez agréer, cher collègue, l'expression de mes sentiments sincèrement dévoués.

H.A. Lorentz

**ALS 2p. Collection particulière, Paris. Reproduite par A.I. Miller (1980, 83–84).**

<sup>1</sup>Poincaré (1906f), publié en janvier 1906.

<sup>2</sup>Les mesures de la déflexion de rayons cathodiques de Walter Kaufmann (1905), présentées à l'Académie des sciences de Berlin le 30.11.1905, confirment les prévisions de la théorie de l'électron rigide de Max Abraham, au dépens de la théorie de "Lorentz-Einstein". Lorentz n'abandonnera pas définitivement sa théorie, dont les prévisions seront confirmées deux ans plus tard par Bucherer (1908). A propos des expériences de déflexion, voir A.I. Miller (1981) et Hon (1995).

<sup>3</sup>Nous n'avons pas trouvé de réponse de Poincaré.

## 38.7 Poincaré à Lorentz

[Ca. 17.01.1910]

Mon cher Collègue,

Je vous serais bien obligé si vous vouliez bien me mettre en mesure de répondre à la question posée par le Comité. <sup>1</sup>

Tout à vous,

Poincaré

**ALS 1p. H.A. Lorentz papers, inv. nr. 62, Noord-Hollands Archief.**

<sup>1</sup>Il s'agit vraisemblablement du comité secret de l'Académie des sciences, chargé de proposer les noms des personnalités susceptibles d'être associé étranger de l'Académie. Le 13 janvier, Poincaré reçut une convocation de l'Académie dont l'ordre du jour était le suivant : "La commission chargée de fournir des listes de savants pour occuper trois des places d'Associés étrangers, actuellement vacantes, se réunira lundi prochain, 17 janvier à 2 heures 1/2." A l'issue de cette réunion, le nom de Lorentz est proposé et Poincaré est chargé du rapport (§62.29) le concernant. Lorentz n'appartient pas au premier contingent d'associés ; J.W. Strutt sera élu le 24.01.1910, et J.D. van der Waals sera élu le 07.02.1910. Sur la base du même rapport de Poincaré, Lorentz sera élu le 28.11.1910.

Au moment même de la réunion du comité secret, Lorentz et Pieter Zeeman proposent Poincaré pour le prix Nobel de physique (§ 62.27), tout en rappelant leur soutien des candidatures de van der Waals et H. Kammerlingh Onnes.

## Chapitre 39

# Élie Mascart

Élie Mascart (1837–1908) entre à l'École normale supérieure en 1858, où il suit les cours d'Émile Verdet (1824–1866). Agrégé de physique en 1861, il est engagé comme agrégé-préparateur d'histoire naturelle à cette même école. Il soutient sa thèse sur la détermination des longueurs d'onde des rayons ultra-violet du spectre solaire en 1864, et se marie avec la fille aînée d'un professeur de l'École normale, Charles Briot (1817–1882). Pendant quatre ans, Mascart est professeur dans l'enseignement secondaire, avant d'être engagé comme l'assistant de Victor Regnault au Collège de France. A partir de 1870 il entreprend des recherches afin de répondre à la question posée par l'Académie des sciences pour le grand prix des sciences mathématiques, sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur. Il conclut que le mouvement de translation de la terre n'a pas d'influence appréciable sur les phénomènes d'optique provenant d'une source lumineuse terrestre, jusqu'au premier ordre d'approximation en  $v/c$ , où  $v$  est la vitesse de la terre par rapport à l'éther. Son mémoire est accordé le grand prix en 1874 (Oliveira, 1992) ; son résultat inspire d'autres expérimentateurs (dont A.A. Michelson, § 41) de pousser la précision des expériences jusqu'au second ordre d'approximation en  $v/c$  (*DSB*).

Mascart succède à Regnault comme titulaire de la chaire de physique générale et expérimentale du Collège de France en 1872. Il s'implique alors dans l'organisation des services météorologiques, la standardisation des unités électriques, ainsi que des travaux de théorisation des dynamos. Il devient membre de l'Académie des sciences en 1884, succédant à Jules Jamin, dans la section de physique générale. Il est élu vice-président de l'Académie en 1903, et président en 1904. A partir de 1903, il se fait suppléer au Collège de France par Paul Langevin (§ 32), qui lui succède lors de son décès en 1908.

## 39.1 Mascart à Poincaré

Paris le 29 oct. 1903

BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE – 176, RUE DE L'UNIVERSITÉ – CABINET  
DU DIRECTEUR

Mon cher confrère,

Je voulais à la dernière séance de l'Académie, et je l'ai oublié, vous demander s'il vous conviendrait de faire avec moi une démarche auprès du Ministre de la guerre, dont on m'a dit que vous aviez l'oreille.<sup>1</sup>

Il s'agit de la Tour Eiffel, que la Direction des Travaux de la Ville de Paris voudrait supprimer à la fin de la concession actuelle en 1910.

Parmi toutes les objections que soulève ce projet, il en est une très importante au point de vue militaire. D'après le traité actuel, le Ministre a le droit de prendre possession de la Tour en cas de guerre ou d'État de siège. C'est en vue de cette application que le Commandant Boulanger, aujourd'hui Colonel, a fait il y a plusieurs années une étude complète des environs de Paris, jusqu'à Rouen et Fontainebleau, avec lesquels on peut communiquer de la Tour par télégraphie optique.<sup>2</sup> En outre, une série d'expériences vont être commencées pour la télégraphie sans fil et il ne paraît pas douteux que l'on ira encore beaucoup plus loin.

J'ignore si le Ministre de la guerre a été informé des projets de la Ville, mais il ne peut y être indifférent et je crois qu'on lui rendrait service en appelant son attention sur ce point.

Qu'en pensez-vous?<sup>3</sup>

Votre bien dévoué,

E. Mascart

### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Le Général André est Ministre de la guerre dans le gouvernement d'Émile Combes.

<sup>2</sup>Julien Auguste Boulanger (b. 1850) est un ancien élève de l'École polytechnique (1869); avec Gustave Ferrié il écrit un ouvrage sur la télégraphie sans fil (1899).

<sup>3</sup>Nous n'avons trouvé aucune lettre de Poincaré à Mascart, mais Poincaré soutient son initiative. Sept ans plus tard, au nom du bureau des longitudes il annonce l'envoi de l'heure par télégraphie sans fil de la tour Eiffel (1910f).

## Chapitre 40

# Georg de Metz

Ancien élève de Poincaré, Georg de Metz (1861–19??) commence ses études universitaires à l’université d’Odessa en 1881. Il étudie deux ans à l’université de Strasbourg, et revient à Odessa en 1887 pour devenir assistant de physique. Il enseigne la physique à Odessa, où il soutient une thèse en physique en 1891. L’année suivante, de Metz est professeur extraordinaire de physique à l’université de Saint-Wladimir à Kiev, où il devient professeur titulaire en 1896 ; il enseigne également à l’institut polytechnique de Kiev.

De Metz s’intéresse aux effets des rayons cathodiques et des rayons X à partir de 1896, quand il soumet deux notes à Poincaré pour publication. Poincaré les communique à l’Académie, en exprimant des réserves à propos des propriétés attribuées par de Metz aux rayons cathodiques (de Metz, 1896a; 1896b ; Poincaré, 1896f; 1896e). Il s’intéresse également à la capacité électrique du corps humain, et présente ses recherches sur ce sujet (1901a) au congrès de physique à Paris au mois d’août 1900. Au congrès de physique, de Metz voit Poincaré qui, un an plus tard, communique la note “d’un électricien russe” sur le corps humain (1901b) à Gaston Darboux pour publication dans les *Comptes rendus* de l’Académie des sciences (correspondance, vol. 4). En 1902, Poincaré présente également sa note sur la double réfraction, qui devait accompagner la lettre transcrite ici.

## 40.1 De Metz à Poincaré

Le 30 Mai 1902

Professeur de Physique à l'Université St Wladimir de Kiew (Russie)

Kiew, rue du Théâtre 3

A Monsieur H. Poincaré, Membre de l'Institut, à Paris

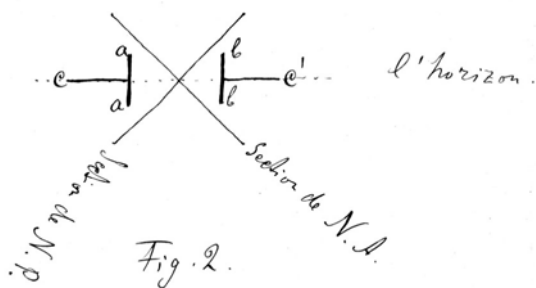
Cher Confrère et Maître !

J'ai l'honneur de vous transmettre dans ce pli ma Note sur la double réfraction accidentelle des liquides et je vous prie de la présenter à l'Académie des sciences, si vous l'en jugez digne.<sup>1</sup>

Pour vous éclaircir la Note je vous ajoute ici une figure de disposition général :



Légende :  $L$  – lumière monochromatique ;  $N.A$  et  $N.P$  les deux nicols ;  $aa, bb$  les deux plaques ;  $c$  et  $c'$  leurs tiges-porteurs.



Dans la fig. 2 vous trouverez la coupe transversale.

En même temps je me permets de vous envoyer mon ancien Mémoire qui se rapporte à ce même sujet.<sup>2</sup>

Il me semble, d'après mes études récentes, qu'on peut mettre un trait d'union entre ce phénomène et le phénomène analogue de Kerr dans le champs électrique. C'est un sujet qui m'occupe maintenant et dont l'exposé sera l'objet d'une Note spéciale.<sup>3</sup>

Je vous remercie, Monsieur, de la bonne grâce que vous me montrez en présentant mes Notes et je vous prie d'agréer l'assurance de ma très haute considération.

Votre serviteur très dévoué.

G. de Metz

**ALS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup> Metz (1902), présentée à l'Académie des sciences par Poincaré le 09.06.1902.

<sup>2</sup> Metz (1888).

<sup>3</sup> L'année suivante, Poincaré présentera la suite des expériences de de Metz (1903) sur la rigidité des liquides. De Metz n'évoque pas le phénomène de Kerr dans ses deux notes sur la double réfraction accidentelle.

# Chapitre 41

## Albert A. Michelson

Born in Strelno, Prussia, Albert A. Michelson (1852–1931) was raised in the United States, attending high school in San Francisco. He obtained a presidential appointment to the United States Naval Academy in 1869, and was commissioned as an ensign in 1873. After a two-year cruise, Michelson was assigned to teach physics and chemistry to midshipmen until 1879, when he joined the office of the Nautical Almanac under Simon Newcomb. The following year, Michelson left Washington to pursue postgraduate studies in Germany, at the University of Berlin, and the University of Heidelberg, and in France, at the Collège de France and the École polytechnique. He resigned his commission in 1883 to join the physics faculty of the Case School of Applied Science in Cleveland. Michelson joined Clark University in 1890 in Worcester, Massachusetts, and in 1892, directed the department of physics at the University of Chicago. During World War I, Michelson returned to active duty in the Navy, coming back to Chicago in 1918, where he remained until retirement in 1929.

While at Case, Michelson carried out an experiment in collaboration with Edward W. Morley (1838–1923), a professor at nearby Western Reserve University, to test the isotropy of light propagation. They found that, contrary to all optical theories except that of Stokes, optical phenomena are independent of the translatory velocity of the Earth with respect to the ether to the second order of approximation in velocity over the speed of light (1887). Along with the isotropy of light propagation, the experiment demonstrated mastery of physical optics, and firmly established Michelson's authority in this domain. Twenty years later, for his work in precision optics Michelson was awarded the Nobel prize in physics, becoming the first American to be so honored. Michelson (§ 62.24) went on to nominate Poincaré for the 1910 Nobel prize in physics.<sup>1</sup>

Michelson's surviving correspondence with Poincaré concerns a polemical debate over the adequacy of Fourier-series expansions of discontinuous periodic functions at the point of discontinuity. The controversy begins with a letter from Michelson to the editor of *Nature* in the fall of 1898. Michelson's account of the problem attracts criticism from the Cambridge mathematician A.E.H. Love (1898a), who deplores Michelson's apparent ignorance of elementary mathematics.<sup>2</sup>



According to J. Willard Gibbs (§ 25), however, Love had missed the point, as Michelson was concerned with the difference between the graph of the function<sup>3</sup>

$$\lim_{n \rightarrow \infty} 2 \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \frac{\sin(kx)}{k} \quad (1)$$

and what Gibbs calls the “limiting form of the curve” (or the limit curve of the graphs) of the functions

$$y = 2 \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \frac{\sin(kx)}{k}. \quad (2)$$

Gibbs describes the limiting form of (2) as a sawtooth curve with vertical line segments, and notes that this curve differs from the graph of the limit function (1), the vertical segments of which are empty, save one point on the  $x$ -axis.

Gibbs’ letter leads Love (1898b) to admit to a misunderstanding, but he immediately counterattacks with a criticism of Gibbs’ terminology, by arguing that the latter’s limiting form corresponds to limits that are not attained. As for Michelson, in a letter published alongside those of Gibbs and Love in the 29 December 1898 issue of *Nature*, he maintains his original position.

Michelson’s confident stance may have been buttressed by the graphical evidence provided by a powerful harmonic analyzer he built with his colleague Samuel Wesley Stratton.<sup>4</sup> Michelson seems to have first encountered the phenomenon in the course of developing his harmonic analyzer, although he did not raise the analyzer results as evidence for his point of view.<sup>5</sup>

At this point in time, Michelson could not have been entirely satisfied with the outcome of his exchange with Love. Plausibly, this is what leads him to approach Poincaré. As Michelson had hoped, Poincaré lends him his support, in a letter written the last week of April 1899 (judging by the date of Michelson’s reply). From Paris, Michelson (§ 41.2) requests Poincaré’s authorization to communicate his note to *Nature*, where it appears on 18 May 1899. While Poincaré judges Michelson to be correct, his letter (§ 41.1) does not specify just what Michelson is correct about. Apparently unaware of the Gibbs-Love exchange of the previous December, Poincaré arrives at a conclusion similar to that of Gibbs, whose analysis he effectively extends by identifying the role of the definite integral

$$\int_0^\pi \frac{\sin x}{x} dx \quad (3)$$

in determining the graph of (2).

The day after Poincaré’s letter to Michelson appeared in *Nature*, Love writes another letter to the editor. He capitalizes on the ambiguity of Poincaré’s judgment, providing his own interpretation: Poincaré meant only to say that the result of summing a series in such a way that  $nx$  remains finite while  $n$  increases and  $x$  decreases to zero is indeterminate. Clearly, Poincaré’s intervention did not bring about the admission of error from Love that Michelson believed he merited. Following the publication of Love’s letter, Michelson

(§ 41.3) encourages Poincaré to respond, no doubt with a more pointed refutation of Love's earlier criticism.

Gibbs, however, had given further thought to Michelson's question. On 27 April 1899, the day before Michelson acknowledged Poincaré's letter, Gibbs' second letter to the editor of *Nature* appears, responding to Love's criticism of the previous December. Gibbs observes that his earlier description of the limiting form of (2) was incorrect, but the reason he gives differs from Love's. He recognizes that the vertical segments of the sawtooth extend *beyond* their points of intersection with the slanted parts, and observes that this overshoot is equal to four times the value of the integral (3) This is what the Harvard mathematician Maxime Bôcher called "Gibbs' phenomenon."<sup>6</sup>

### Notes

<sup>1</sup>On Michelson's life, see Livingston (1973); extracts of Michelson's correspondence have been edited by Reingold (1964). On Michelson's work see the *DSB*, Goldberg (1988), Pyenson and Haubold (1988), and Staley (2002).

<sup>2</sup>Augustus Edward Hough Love (1863–1940) is Sedleian professor of natural philosophy at Oxford from 1899.

<sup>3</sup>Gibbs (1898); the notation is modified for clarity.

<sup>4</sup>Michelson et Stratton (1898). Stratton later directed the National Bureau of Standards, and served as president of M.I.T.; see Kevles (1977, 66, 189).

<sup>5</sup>See Bôcher (1906); pertinent output of the Michelson-Stratton analyzer is reproduced by E. Hewitt and R. Hewitt (1979, 150).

<sup>6</sup>Bôcher also offers a proof of Gibbs' assertion; see Gibbs (1899); Bôcher (1906). Along with Love, R.B. Hayward (1899) and H.F. Baker (1899) failed to recognize the phenomenon. For further references, and details on the history of Gibbs' phenomenon, see Hewitt et Hewitt (1979).

## 41.1 Poincaré à Michelson

[Ca. 27.04.1899]<sup>1</sup>

Mon cher Collègue,

Comme je l'avais prévenu vous avez tout à fait raison. Prenons d'abord l'intégrale

$$\int_0^y \frac{\sin xz}{x} dx,$$

dont la limite pour  $y = \infty$  est  $\pi/4$ ,  $0$ ,  $-\pi/4$  selon que  $z$  est positif, nul ou négatif.<sup>a</sup>

Faisons maintenant tendre simultanément  $z$  vers  $0$  et  $y$  vers l'infini de telle façon que  $zy$  tende vers  $a$ . La limite sera

$$\int_0^a \frac{\sin x}{x} dx$$

qui peut prendre toutes les valeurs possibles depuis  $0$  jusqu'à

$$\int_0^\pi \frac{\sin x}{x} dx.$$

---

<sup>a</sup>La transcription de *Nature* veut que ce soit  $x/4$ ,  $0$ ,  $-x/4$ , mais la limite pour  $z > 0$ ,  $z = 0$ , et  $z < 0$  est  $\pi/2$ ,  $0$ , et  $-\pi/2$ , respectivement, comme l'observe E. Hewitt et R. Hewitt (1979, 153). Nous corrigeons uniquement la coquille de  $x$  pour  $\pi$ .

Si nous prenons maintenant  $n$  termes dans la série<sup>b</sup>

$$\sum \frac{\sin kz}{z},$$

en faisant tendre simultanément  $z$  vers 0 et  $n$  vers l'infini de telle façon que le produit  $nz$  tende vers  $a$ , cela sera évidemment la même chose ; et la différence entre la somme et l'intégrale sera d'autant plus petite que  $z$  sera plus petit. Cela se voit aisément.

Tout à vous,

Poincaré

**PTrL. Poincaré (1899b).**

<sup>1</sup>Lettre publiée dans *Nature* le 18.05.1899. Michelson sollicitera de Poincaré son autorisation de publication le 28.04.1899 (§ 41.2).

## 41.2 Michelson à Poincaré

LE 28 April 1899  
GRAND HÔTEL  
BOULEVARD DES CAPUCINES, 12  
PARIS

My dear M. Poincaré,

I assure you it was a very great satisfaction for me to receive from so high an authority, so striking a confirmation of my view.

If it is not putting you to too much trouble I would venture to ask if you would care to publish your note in the "*Nature*". Perhaps before deciding to do so you might prefer to read what had been contributed in that Journal. The first date (if my memory serves) is Oct. 8th '98.<sup>1</sup>

In any case, I should very much like to quote your letter—if you have no objection.

With many thanks and kind regards,

Yours faithfully,

A. A. Michelson

**ALS 2p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>Michelson's initial letter to *Nature* on Fourier's series (1898) was published on 06.10.1898.

---

<sup>b</sup>Poincaré voulait écrire plutôt :

$$\sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \frac{\sin(kz)}{k}.$$

## 41.3 Michelson à Poincaré

June 29 1899  
COOK'S TOURIST WAITING ROOM  
LUDGATE CIRCUS, LONDON<sup>1</sup>

My dear M. Poincaré,

This is just to call your attention to a reply to your letter which I published in "*Nature*"—by Mr. Love, June 1<sup>st</sup> I think.<sup>2</sup>

It is written in his characteristic way and I trust you will think it worth while to send a reply.

My own impression is that he knows he is upholding a "forlorn hope."

Cordially yours,

A.A. Michelson

### ALS 2p. Private collection, Paris.

<sup>1</sup>Michelson was in England to receive an honorary degree from Cambridge University (Livingston, 1973, 206).

<sup>2</sup>In his letter to the editor of *Nature*, published 01.06.1899, Love (1899) ignored Gibbs' second letter (1899), and banked on the ambiguity of Poincaré's letter to Michelson (§41.1):

M. Poincaré ... does not assert that the sum of the series can be obtained by allowing  $x$  to approach zero and  $n$  to increase at the same time, in such a way that  $nx$  remains finite; but he states that Prof. Michelson is perfectly right in contending that the result of this process is indeterminate. So far as I am aware this contention has not been called in question in the course of the discussion.

## Chapitre 42

# Henri Moissan

Henri Moissan (1852–1907) passe deux ans comme apprenti pharmacien à Paris, avant de travailler au laboratoire du Muséum d'histoire naturelle, où il entreprend des recherches sur la physiologie des plantes sous la direction de Pierre-Paul Dehérain. Il passe alors son baccalauréat en 1874, sa licence en 1877, et un diplôme de pharmacien de l'École supérieure de pharmacie en 1879. L'année suivante, il soutient une thèse "Sur les oxydes métalliques de la famille du fer" à la faculté des sciences de Paris.

A partir de 1879 Moissan est maître de conférences et chef des travaux pratiques de chimie à l'École supérieure de pharmacie, où il devient professeur de toxicologie en 1887. Trois ans plus tard il est professeur de chimie inorganique à la même école, et en 1891, il est élu membre de l'Académie des sciences, à la section de chimie. En 1897 il est maître de conférences à l'École normale supérieure, jusqu'en 1899, quand il devient professeur de chimie minérale à l'École supérieure de pharmacie. En 1900, il devient professeur de chimie inorganique à la Faculté des sciences de Paris.

L'isolation du fluor s'était montrée une objective difficile à atteindre, et plusieurs chimistes se sont tués ou blessés en essayant de la réaliser. Pour avoir réussi à isolé le fluor en 1886, Moissan reçoit le prix Nobel de chimie en 1906. Il s'intéresse aussi à la fabrication de diamants, pour laquelle il développe un four électrique très efficace, qui contribue au fondement de la chimie à haute température (Charle et Telkes, 1989, 202 ; *DSB*).

### 42.1 Poincaré à Moissan

[Ca. 1891–1900]

Mon cher Confrère,

Nous avons une loge pour l'Opéra mercredi prochain. Voudrez-vous nous faire le plaisir de venir nous y rejoindre avec Madame Moissan et votre petit garçon.<sup>1</sup>

On joue Don Juan.

C'est la loge de seconde N° 21 à M. de Royer.

Votre bien dévoué Confrère,

Poincaré

**ALS 1p. Fonds G. Bertrand, Archives de l'Académie des sciences.**

<sup>1</sup>Henri Moissan et Marie Lugan ont un seul enfant, Louis Moissan (Charle et Telkes, 1989, 202).

## 42.2 Poincaré à Moissan

[Ca. 10–12.08.1899]

Mon cher Confrère,

Votre concierge n'a pu me donner votre adresse ; j'envoie néanmoins ma lettre rue Vauquelin à tout hasard, espérant que Monsieur votre père pourra vous la faire renvoyer.

Voici de quoi il s'agit ; j'ai été la semaine dernière à Londres où se réunissait la Commission chargée d'étudier le Catalogue Bibliographique International de la Société Royale de Londres dont vous avez sans doute entendu parler.<sup>1</sup>

En ce qui concerne la Chimie, le projet de classification a été dressé par MM Armstrong et Schwalbe ; mais avant de l'adopter définitivement on désirerait le soumettre à votre examen.<sup>2</sup>

Seriez-vous disposé à l'examiner et dans ce cas où faudrait-il vous l'envoyer. On désirerait une solution définitive avant la fin de septembre.

Veuillez, mon cher Confrère, croire à mes sentiments dévoués et vous charger de transmettre à Madame Moissan les compliments de ma femme et mes respectueux hommages.  
Poincaré

**ALS 2p. Fonds G. Bertrand, Archives de l'Académie des sciences.**

<sup>1</sup>Le projet de catalogue en question est un concurrent, en quelque sorte, de celui du répertoire bibliographique des sciences mathématiques que préside Poincaré (sur celui-ci voir § 58.1, note 1. Le catalogue bibliographique international, à la différence du répertoire bibliographique, devait englober tous les domaines scientifiques, et pour les sciences mathématiques il proposait une classification différente. Le choix du siège du catalogue était lourd de conséquences diplomatiques, comme l'indique le courrier administratif à ce sujet (F<sup>17</sup> 17161, Archives nationales). Poincaré fut nommé en octobre 1898 à la commission provisoire du catalogue bibliographique international ; selon le rapport (Armstrong et al., 1899) publié dans *Science*, elle s'est réunie à la société royale de Londres, du 01.08 au 05.08.1899.

<sup>2</sup>Henry E. Armstrong et B. Schwalbe sont membres de la commission provisoire du catalogue international de la littérature scientifique ; voir leur rapport (op. cit.). B. Schwalbe est le délégué allemand à la commission ; selon le rapport, Félix Klein devait l'accompagner, sans voter.

# Chapitre 43

## Wladimir de Nicolaïève

Vers 1900, Wladimir de Nicolaïève travaille au laboratoire de physique du prince Galitzine à l'Académie impériale des sciences de Saint-Petersbourg. Dans le cadre de théorie de Maxwell, de Nicolaïève et d'autres s'interrogent à propos du phénomène d'induction unipolaire : les lignes de force magnétiques tournent-elles avec la rotation de l'aimant ? Poincaré s'y intéresse aussi bien du point de vue technique (1900e) que philosophique (1902d, 231).

De Nicolaïève s'y intéresse du point de vue expérimental, en faisant suspendre un électro-aimant tubulaire à un fil, selon l'axe d'un cylindre creux parcouru par un courant électrique. Il met ainsi en évidence le mouvement relatif du cylindre et de l'électro-aimant sous l'action du champ magnétique. Si le résultat de ses expériences sont compatibles avec celles de Faraday ou avec l'interprétation des équations de Maxwell, la question de la rotation du champ magnétique reste en suspens.

Cependant, intrigué par les notes de de Nicolaïève qu'il a présentées à l'Académie des sciences, et après en avoir communiqué son analyse à Georges Sagnac (§§ 51.1, 51.2), Poincaré annonce aux lecteurs de *L'Éclairage électrique* (1900e) que la question de la rotation des lignes de force magnétiques est "dépourvue de sens."

### 43.1 De Nicolaïève à Poincaré

12/25 Mars 1900<sup>1</sup>  
S<sup>t</sup> Petersburg  
École militaire Paul

Monsieur le très estimé membre de l'institut,

Une longue absence de St Petersburg puis une longue maladie qui me tient même à présent dans le logement, m'ont empêché de vous témoigner ma reconnaissance pour bontés envers moi ; les bontés manifestées pendant toutes les péripéties de présentations de mes notes à l'académie de sciences.<sup>2</sup>

Quelques de mes remarques au sujet de la rotation du pôle magnétique autour d'un courant rectiligne sont exprimé par M<sup>r</sup> le professeur *Lecher* au Numéro de décembre des *Annales de Physique* de Wiedemann sans citer mon travail, de sorte que je dois m'adresser à la rédaction des *Annales* et à M<sup>r</sup> Lecher pour avoir des explications de ce fait et pour restituer ma priorité.<sup>3</sup>

En vous priant d'agréer la plus cordiale reconnaissance veuillez agréer aussi l'expression de mon estime le plus profond et de ma parfaite considération.

Wladimir de Nikolaïeve

**ALS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Le 12 mars du calendrier julien, ou le 25 mars du calendrier grégorien.

<sup>2</sup>Voir la lettre de G. Sagnac (51.2), qui propose de fondre deux des trois notes de de Nicolaïève en une seule ; deux notes sont publiées dans les *Comptes rendus* (1899b; 1899a).

<sup>3</sup>Ernst Lecher (1856–1926) est professeur de physique à l'université allemande de Prague. En 1895, Lecher (1895) fit des expériences montrant l'immobilité des lignes de force du champ magnétique lors de la rotation de l'aimant. L'article dont il est question dans cette lettre (1899) arrive à la rédaction des *Annalen der Physik* le 05.08.1899, mais il fut présenté à l'Académie des sciences de Vienne le 13.07.1899. La première note de de Nicolaïève (1899b) est présentée par Poincaré à l'Académie des sciences de Paris le 24.07.1899.



## Chapitre 44

# Henri Pellat

Henri Pellat (1850–1909) entre à l'École normale supérieure en 1871, obtient l'agrégation des sciences physiques et naturelles en 1874. Il enseigne la physique au collège Rollin (Paris), au lycée Louis-le-Grand (Paris), et à la Maison de la Légion d'honneur (Saint-Denis). Il soutient une thèse à la faculté des sciences de Paris en 1881 sur la différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux au contact. En 1885 il devient maître de conférences de physique à la Sorbonne, alors que Poincaré, son cadet de quatre ans, est chargé de cours de mécanique physique et expérimentale (puis professeur de physique mathématique et de calcul des probabilités en 1886). Pellat fait toute sa carrière à la Sorbonne ; il devient professeur adjoint de physique en 1893, et professeur titulaire en 1899 (Charles et Telkes, 1989, 218).

La correspondance entre Poincaré et Pellat concerne les expériences de celui-ci sur les rayons cathodiques qui traversent un champ magnétique. Elles constituent le point de départ de la théorie de la magnétofriction de Pellat, qui conduira à une controverse avec Paul Villard (1860–1934), qui assimile (1904a) ces phénomènes à ceux remarqués par André Broca. Comme ce dernier, Villard distingue deux sortes de rayons : le “faisceau hélicoïdal” et le “faisceau en tube de force” ; il donne à ce dernier le nom de rayons magnéto-cathodiques. Il remarque que ces rayons ne sont pas électrisés mais que le champ électrique agit sur eux alors qu'un champ magnétique dévie les rayons cathodiques. Pellat (1904) répond que le phénomène de magnétofriction s'applique aux rayons cathodiques et non à ces rayons magnéto-cathodiques. C'est alors que Villard (1904c) met les choses au point en interprétant le texte même de Pellat : ce dernier a bien observé en réalité des rayons magnéto-cathodiques. Pellat revient encore à son hypothèse de la magnétofriction et donne à l'appui de ses affirmations l'allure des courbes obtenues mais encore une fois il est contredit par Villard (1904b), qui donne une analyse précise de ces tracés. Sa conclusion ne laisse pas de place à l'idée de magnétofriction : “Les résultats précédents ne présentent pas la moindre anomalie pouvant faire supposer l'existence d'un frottement magnétique quelconque des corpuscules.”

La neutralité électrique des rayons magnéto-cathodiques de Villard sera remise en cause par la suite, notamment par J.J. Thomson. Georges Gouy reprendra en 1909 et 1911 l'hy-

pothèse de Pellat en attribuant aux rayons magnéto-cathodiques la même nature que celle des rayons cathodiques. Seul, A. Righi tentera jusqu'en 1918 d'approfondir l'hypothèse des rayons magnétiques (Carazza et Kragh, 1990).

## 44.1 Pellat à Poincaré

Paris, le 12 Mars 1902

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

LABORATOIRE DE PHYSIQUE GÉNÉRALE—PLACE DE LA SORBONNE

Mon cher Collègue,

J'ai vu en parcourant les *comptes Rendus* que vous étiez intéressé aux actions du champ magnétique sur le flux cathodique, à propos des expériences de Birkeland.<sup>1</sup>

Je désirerais beaucoup vous montrer les nouvelles expériences que je viens de faire à ce sujet, qui me paraissent prouver avec toute évidence que la direction des rayons cathodiques suivant les lignes de force du champ magnétique ne peut pas être attribuée à l'enroulement de ces rayons autour des lignes de force. Autrement dit, outre la force électromagnétique agissant sur eux et qui est perpendiculaire aux lignes de force, il existe une autre force agissant sur les rayons cathodiques dans la direction du champ et que j'appelle, faute d'une meilleure dénomination, *force magnétique*.

Les rayons cathodiques obéissent à la résultante de ces deux forces rectangulaires entre elles. Mais le rapport de la dernière de ces forces à la première augmente rapidement avec l'intensité du champ ; de façon que, si dans les champs faibles c'est la force électromagnétique<sup>a</sup> qui a une action prépondérante, dans les champs intenses c'est au contraire la force magnétique qui est seule sensible et dirige le flux cathodique dans le tube de force ayant pour base la cathode. C'est l'étude de ce qui se passe dans les champs intermédiaires, où les deux forces ont des intensités comparables, qui montre nettement l'existence de la force magnétique.

Je compte présenter Lundi prochain une note à l'Académie sur ce sujet.<sup>2</sup> Je serais heureux si vous pouviez voir auparavant mes expériences. Ayez l'obligeance de me prévenir de l'heure et du jour qui vous conviennent (en excluant le Jeudi et le Vendredi) pour que je puisse préparer les expériences.

Veuillez agréer, mon cher collègue, l'expression des mes meilleurs sentiments.

H. Pellat

**TLS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Les expériences de Birkeland (§ 5) sur les rayons cathodiques datent de 1896, époque à laquelle le savant norvégien fait paraître deux notes à l'Académie, dont une présentée par Poincaré (1896; 1898a); voir à ce propos (§ 5.3). Ces expériences montrent que le faisceau produit contient divers groupes de rayons d'espèces différentes qui seront déviés différemment par un champ magnétique. Ce phénomène de dispersion produit une sorte de spectre de raies que Birkeland étudie en agissant sur les différentes variables du dispositif expérimental. Il provient essentiellement du fait que les électrons se déplacent à des vitesses très différentes.

<sup>2</sup>Pellat (1902c), note présentée par Lippmann le 24.03.1902. Sans parler de force magnétique, Pellat différencie le phénomène observé de celui décrit par Birkeland et analysé par Poincaré Birkeland, 1896, 1898a;

<sup>a</sup>Variante : "force électromotrice".

Poincaré, 1896j). Il parle alors de la création d'un frottement anisotrope pour les particules constituant les rayons cathodiques. Pellat donnera plus tard à ce phénomène le nom de magnétofriction (1902b).

## 44.2 Pellat à Poincaré

Paris 17 Mars 1902

Mon cher Collègue,

Je me suis aperçu, quelques heures après vous avoir vu, que l'explication du phénomène que je vous ai indiquée ce matin est certainement inexacte : si un projectile conducteur lancé dans un champ magnétique *non uniforme* peut avoir la direction de sa vitesse modifiée par les phénomènes d'induction, il n'en est pas de même si le champ est *uniforme*, car les phénomènes d'induction par déplacement du conducteur y sont nuls.

Or le phénomène que je vous ai montré est aussi net et aussi intense dans un champ uniforme que dans un champ variable.

Il me semble pourtant assez probable que le phénomène est dû à un frottement hétérotrope.

J'ai constaté aujourd'hui très nettement qu'avec une lumière cathodique qui n'atteint pas les bords de l'ampoule, le tube de force dessiné par les rayons cathodique est moins long et très notablement moins long que le chemin rendu lumineux par le flux cathodique en dehors du champ magnétique. Ceci n'est pas d'accord avec l'idée d'une force agissant dans le sens des lignes de force.<sup>1</sup>

Le phénomène reste mystérieux.

Votre bien dévoué,

H. Pellat

**ALS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Pellat (1902a) précise dans le cadre de son hypothèse d'un frottement sur les particules du faisceau : "le frottement serait beaucoup plus énergétique dans la direction perpendiculaire aux lignes de force que dans la direction même de ces lignes."

# Chapitre 45

## Harold Pender

Harold Pender (1879–1959) fait ses études à l’université Johns Hopkins, où il obtient le diplôme de *Bachelor of Arts* en 1898. Il soutient une thèse (1901b; 1902) sous la direction de Henry Rowland sur l’effet magnétique de la convection d’électricité. En 1902–1903, Pender enseigne à l’université de Syracuse, puis il est engagé comme ingénieur à Pittsburgh et à New York. En 1909, il devient professeur d’électricité théorique et appliquée au Massachusetts Institute of Technology. Il quitte M.I.T. en 1914 pour l’université de Pennsylvania, où il devient doyen de la Moore School of Electrical Engineering en 1923 (Cattell, 1955, I, 1493).

### 45.1 Poincaré à Pender

[Ca. 08.1902]

M. Poincaré, 63 rue Claude Bernard à Paris

Mon cher Collègue,

J’ai lu avec le plus grand intérêt les Compte Rendu de vos expériences sur la convection électrique ; je fus d’abord persuadé que vous aviez trouvé la véritable cause des résultats négatifs obtenus par M. Crémieu.<sup>1</sup> Mais M. Crémieu a repris ses expériences en se mettant à l’abri de la cause d’erreur que vous aviez signalée et les résultats négatifs ont persisté.

La question n’est donc pas encore résolue comme je l’avais espéré un instant.

Il me semble qu’elle est d’une bien trop grande importance pour la physique tout entière pour qu’on puisse la laisser en suspens. D’un autre côté, je suis persuadé que si vous multipliez les expériences, vous continuerez à trouver des résultats positifs et M. Crémieu à trouver des résultats négatifs de sorte que la question restera encore indécise. Sans doute les deux expérimentateurs sont d’une parfaite bonne foi, mais il y a quelque cause cachée que ni l’un ni l’autre n’ont aperçue et qui explique la différence de leurs résultats malgré l’analogie apparente des moyens employés.

Je crois qu’on n’a qu’une chance de découvrir cette cause cachée. Il faudrait que M. Crémieu et vous opériez à côté l’un de l’autre, sous les yeux et la critique l’un de l’autre ;

de façon que vous puissiez comparer tous les détails des dispositions expérimentales. C'est aussi ce que pense lord Kelvin à qui j'ai écrit, pour lui demander son avis à ce sujet.<sup>2</sup> Pourriez-vous venir à Paris passer quinze jours ou un mois, ou davantage si cela était nécessaire et en apportant ceux de vos appareils qui sont transportables ?

Je ne me dissimule pas que ce serait là pour vous un grand dérangement, mais je crois que vous rendriez ainsi un service éminent à la Science.

Je n'ai pas encore parlé de ce projet à M. Bouty et l'exécution en est subordonnée à son consentement, puisque c'est dans son laboratoire que se feraient les expériences que ce serait lui qui prêterait le local que ce serait son budget qui supporterait les frais d'expérience, et lui par conséquent qui ferait l'invitation.<sup>3</sup> Mais je ne doute pas qu'il ne fasse à mon idée un accueil favorable. Je ne doute pas non plus que l'Université John Hopkins, qui est animée d'un esprit si libéral, ne vous paye vos frais de voyage.<sup>4</sup>

Dès que j'aurai votre réponse, si elle est favorable, je parlerai de ce projet à M. Bouty.<sup>5</sup>

Votre bien dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 4p. Record Group Number 04.030, Department of Physics, Series 13, Ferdinand Hamburger Archives of the Johns Hopkins University.**

<sup>1</sup> Voir (Pender, 1901a,b, 1902), ainsi que la correspondance entre Poincaré et V. Crémieu (§17).

<sup>2</sup> Selon William Thomson, les expériences simultanées doivent avoir lieu à Baltimore ou à Paris (§56.17).

<sup>3</sup> Edmond Bouty dirige le laboratoire de l'enseignement de la physique à la faculté des sciences de Paris.

<sup>4</sup> Les frais de Pender seront supportés par une subvention de \$750 accordée par l'Institut Carnegie (Carnegie Institute of Washington, Year Book, No. 2, 1903, p. xxxix), ainsi qu'une rallonge destinée à prolonger le séjour de Pender à Paris jusqu'à la réunion de Pâques de la Société française de physique (§1.1).

<sup>5</sup> La lettre de réponse de Pender n'a pas été retrouvée, mais il a accepté l'invitation de Poincaré.

# Chapitre 46

## Alfred Perot

Alfred Perot (1863–1925) grandit à Metz et à Nancy, et il entre à l'École polytechnique en 1882. Il obtient des licences de mathématiques et physique en 1884 et 1885, et soutient sa thèse à la Sorbonne sur l'équivalent mécanique de la chaleur (1887). L'année suivante il est maître de conférences à la faculté des sciences de Marseille, où il est promu professeur de physique industrielle en 1894. En collaboration avec Charles Fabry, Perot invente en 1899 un instrument optique qui sera la source de nombreuses découvertes : le "Fabry-Perot" interféromètre. En 1901 il revient à Paris en tant que fondateur et directeur du laboratoire d'essais du conservatoire national des arts et métiers. En 1908, il est astronome physicien à l'observatoire de Meudon, et en 1909, il succède à Henri Becquerel dans la chaire de physique de l'École polytechnique (*DSB* ; Perot, 1919).

### 46.1 Perot à Poincaré

Marseille 16 Décembre 1892

FACULTÉ DES SCIENCES DE MARSEILLE – LABORATOIRE DE PHYSIQUE

Cher Monsieur,

J'ai l'honneur de vous envoyer ci-jointe la note pour l'Académie, au sujet de laquelle je vous avais écrit et que vous voulez bien présenter.<sup>1</sup> J'espère pouvoir d'ici peu vous en envoyer une seconde explicitant les phénomènes qui se passent dans le fer.<sup>2</sup>

Veuillez agréer, je vous prie, l'expression de mes sentiments les plus respectueux et dévoués,

A. Perot

**ALS 1p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Perot (1892b), présentée par Poincaré le 26.12.1892.

<sup>2</sup>Cette seconde note de Perot, envoyée avant le 25.12.1892, n'a pas été retrouvée. Poincaré pose des questions à Perot au sujet de ses envois dans une lettre qui nous manque, et Perot lui répond (§46.2), mais la seconde note ne sera pas publiée aux *Comptes rendus*.

## 46.2 Perot à Poincaré

Marseille 25 Déc. 92<sup>1</sup>

FACULTÉ DES SCIENCES DE MARSEILLE – LABORATOIRE DE PHYSIQUE  
49 B<sup>ard</sup> Longchamp

Cher Monsieur,

Je vous remercie beaucoup des nouvelles que vous me donnez dans votre lettre, et je m'empresse de répondre aussi entièrement que je le puis à ce que vous m'y demander. <sup>2</sup>

Je crois et suis à peu près convaincu que la cause de la discordance tient au micromètre qui est dissymétrique. <sup>3</sup> J'ai été conduit à le prendre de cette forme (pointe et plan) pour fixer les étincelles et les obliger à se produire toujours au même point. Je suis un maladroit de n'avoir pas réfléchi que cela entraînait une déformation de la courbe d'interférence, mais un maladroit heureux, car si cette dissymétrie n'avait pas existé, je n'aurais pas pu calculer  $\alpha$ . <sup>4</sup>

Au reçu de votre lettre j'ai pris mon micromètre et ai vérifié directement qu'il ne se conduisait pas de même suivant que la pointe était positive ou négative. Pour une différence donnée de potentiel la distance explosive est plus grande quand la pointe est négative, que lorsqu'elle est positive, l'écart étant considérable.

Supposons d'abord si vous le voulez bien que la courbe représentant le mouvement soit celle qui est figurée à la partie supérieure de la feuille ci-jointe ; construisons pour différentes valeurs de  $h$  la différence de potentiel entre la pointe et le plan en fonction du temps ; nous obtiendrons les courbes figurées en noir en dessous. <sup>5</sup> Elles représenteront le potentiel de la borne du micromètre la plus rapprochée de l'excitateur, si nous supposons que l'autre est toujours au potentiel zéro.

Cette différence change de signe avec le temps, c'est-à-dire que cette borne est alternativement positive puis négative.

Supposons que cette borne soit reliée au plan. Il faudra alors pour passer de ces courbes à celles de la distance explosive pour une valeur donnée de  $h$ , en fonction du temps, réduire les ordonnées négatives dans un certain rapport et faire leur carré, ou par exemple remplacer les parties noires au dessous de l'axe des temps par les parties violettes, déterminer l'ordonnée maxima pour chaque courbe, construire une courbe en prenant ces ordonnées maxima pour ordonnées et  $h/v$  pour abscisse, ce qui donnera la courbe 1 de la 2<sup>e</sup> feuille, et élever ces ordonnées au carré. Je reviendrai plus loin sur cette forme.

Si au contraire c'est la pointe qui est reliée au joint le plus voisin de l'excitateur, il faudra remplacer les parties situées au dessus de l'axe des temps par les parties violettes et la courbe obtenue sera la courbe 2. C'est celle que j'ai décrite, et elle n'a été trouvée que parce que le micromètre était dissymétrique.

Quant à l'autre je l'ai rencontrée aussi, en recherchant dans mes notes j'en trouve plusieurs exemples ; j'attribuais cette forme aplatie à un amortissement énorme, ou à un mauvais contact du pont, ou à un mauvais fonctionnement de l'excitateur. Je me souviens même que M<sup>r</sup> Potier faisant une expérience m'a dit : « Mais c'est singulier la courbe n'a pas l'air de se relever après le 2<sup>e</sup> minimum ». Je changeai l'oscillateur probablement en inversant les communications et il trouva la forme décrite. <sup>6</sup>

Je vous envoie une de ces formes retrouvées dans mes notes.<sup>7</sup>

Remarquez que la valeur de  $\alpha$  déduite de la 2<sup>e</sup> forme est légitime. Or j'opérai dans la mesure de  $\alpha$  en faisant plusieurs expériences de suite et excitant avec la machine de Holtz.

De plus certains jours il m'était absolument impossible d'obtenir le 2<sup>e</sup> maximum, j'étais sans doute dans le cas de la 1<sup>re</sup> courbe.

Les calculs de  $\alpha$  nécessitant la connaissance du 2<sup>e</sup> maximum ont été certainement tous faits avec des courbes de la seconde nature.

Voilà, je crois, ce que je puis vous dire sur ce sujet ; sans doute vous avez construit vous-même les courbes que je vous envoie ; je regrette beaucoup de vous avoir par ma faute fait perdre du temps sur cette question, et je vous remercie beaucoup de m'avoir écrit vos observations sur ce sujet.<sup>8</sup>

Maintenant faut-il laisser les choses en l'état ? ou réparer ? Dans ce cas où faudrait-il publier quelque chose ? Je serais bien content d'avoir votre avis là-dessus. Dites le si vous voulez à votre cousin que je reverrai certainement ici après les congés.<sup>9</sup>

Permettez-moi une dernière observation, le calcul fait dans mon mémoire reste, il me semble, intact, car dans la forme trouvée analytiquement, la portion rectiligne précédant la sinusoïde amortie n'existe pas.

Excusez, je vous prie, cette lettre que je voudrais refaire mais que je vais cependant vous envoyer puisque vous me demandez de vous répondre le plus vite possible et recevez l'expression de mes sentiments les plus dévoués et respectueux,

A. Perot

Dans les dernières expériences que je vous ai envoyées et que je vous remercie de bien vouloir présenter à l'Académie, la dissymétrie du micromètre n'a évidemment aucune influence.<sup>10</sup>

#### ALS 8p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Le manuscrit porte une annotation à la première page, de la main de Perot : "L'affaiblissement avec la propagation étant très petit, insensible ainsi que je le dis page 4." Perot renvoie Poincaré ainsi à la quatrième page du manuscrit de la note (1892b) présentée par Poincaré à l'Académie des sciences le 26.12.1892 (voir § 46.1).

<sup>2</sup>La lettre de Poincaré, vraisemblablement sa réponse à la lettre de Perot du 16.12.1892 (§46.1), n'a pas été retrouvée.

<sup>3</sup>Voir la discussion de ce point par Poincaré (1894a, 170).

<sup>4</sup>La vitesse de l'amortissement est caractérisée par la constante  $\alpha$  ; voir Perot (1892c).

<sup>5</sup>La feuille n'a pas été retrouvée.

<sup>6</sup>Poincaré (1894a, 175–176) évoque les "expériences inédites" de Perot.

<sup>7</sup>Nous n'avons pas retrouvé le document de Perot.

<sup>8</sup>La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée.

<sup>9</sup>Lucien Poincaré (§ 47) fut nommé professeur de physique au lycée de Marseille le 01.04.1891 (Gidel et al., 1921).

<sup>10</sup>La note de Perot n'a pas été publiée aux *Comptes rendus*.



## Chapitre 47

# Lucien Poincaré

Lucien Poincaré (1862–1920) est le fils d'Antoni Poincaré, polytechnicien, ingénieur des ponts et chaussées, et membre de la société française de physique. Son frère aîné Raymond sera membre de l'Académie française (1909) et président de la République (1913–1920); Raymond et Lucien sont des cousins germains de Henri Poincaré. Lucien fait ses études à l'École normale supérieure en 1883, obtient des licences en sciences mathématiques (1885) et physiques (1887), et devient agrégé de sciences physiques en 1887. En 1886 il enseigne au lycée de Bourges, et en 1887 il est nommé agrégé préparateur au laboratoire d'enseignement de physique à la Sorbonne, dirigé par Edmond Bouty. Il soutient une thèse à la Sorbonne sur les électrolytes fondus en 1890. En 1891 il enseigne la physique au lycée de Marseille, et en 1893 au lycée Louis-le-Grand (Paris). Il devient maître de conférences à l'École normale supérieure de jeunes filles (Sèvres) en 1894, et chargé de cours de physique (PCN) à la Sorbonne en 1895. L'année suivante, il est professeur par délégation à l'École supérieure d'électricité. A partir de 1900 il travaille au rectorat de Chambéry, et en 1902 il devient inspecteur des sciences physiques. En 1910 il est chargé de la direction de l'enseignement secondaire, et en 1914, de la direction de l'enseignement supérieur. Il succède à Louis Liard en 1917 comme vice-recteur de l'académie de Paris (Gidel et al., 1921).

Lucien Poincaré écrit de nombreux articles de vulgarisation, et un livre sur la physique moderne (1906) couronné par le prix Hébert de l'Académie des sciences en 1907 (Gauja, 1917). Pendant la première décennie du vingtième siècle Lucien Poincaré est membre du comité de rédaction du *Journal de physique théorique et appliquée*, publié par la société française de physique. Comme son cousin Henri, qui présidait cette société en 1902, Lucien fait de même en 1911.

## 47.1 Lucien Poincaré à Poincaré

31 décembre [1886]<sup>a</sup>

Mon cher Henri,  
Bourges illumine, je vais acheter un drapeau. Je n'ai pas besoin de te dire combien je suis heureux de ton succès, je t'envoie mes plus sincères félicitations.<sup>1</sup>  
Mille amitiés à toi et à Louise,<sup>2</sup>  
Lucien Poincaré

**ALS 1p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Henri Poincaré est élu membre de l'Académie des sciences, section de géométrie, le 31.01.1887 (Charle et Telkes, 1989, 232).

<sup>2</sup>Louise Poulain d'Andecy, épouse de Henri Poincaré.

## 47.2 Lucien Poincaré à Poincaré

26 mars 1907  
130, Rue de Rennes, VI<sup>e</sup>

Mon cher Henri,  
Hier, aux obsèques de Berthelot, plusieurs personnes m'ont parlé, spontanément, de ta nomination au Secrétariat perpétuel ; je n'ai pas besoin de te dire que je n'avais pas abordé moi-même la question.<sup>1</sup>  
Appell, qui m'avait déjà dit que Darboux désirais beaucoup t'avoir comme collègue et réparer ainsi le tort qu'il t'a fait (à notre avis !) en prenant la place de Bertrand, m'écrit ce matin : « J'ai parlé au Dr Roux qui est tout à fait acquis à la candidature d'Henri » et il ajoute : « Il faudrait que d'ici peu de jours, Henri nous autorise à poser officiellement sa candidature ». <sup>2</sup>  
Il considère d'ailleurs le succès comme certain ; le précédent de Berthelot (qui appartenait à la section de physique) écarte la seule objection que l'on pourrait faire, puisque cette section est rangée dans la série des sciences mathématiques.  
Permetts moi de te dire que je suis certain que tu rendrais à la Science le plus grand service en acceptant ce poste qui semble fait pour toi et laisse moi espérer que tu m'autoriseras à répondre à Appell que tu consens à laisser marcher tes amis.  
Voici le beau temps qui va vous faire des vacances agréables ; nous pensons, après Pâques, aller aussi passer qq's jours à la campagne à Triaucourt.<sup>3</sup>  
Papa continue à aller de mieux en mieux.  
Nous vous embrassons tous bien affectueusement.  
L. Poincaré

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>a</sup>Le manuscrit porte une annotation de main inconnue : "(janvier ?) 1887".

<sup>1</sup>Marcelin Berthelot est mort le 18.03.1907 ; il fut secrétaire perpétuel pour les sciences physiques à l'Académie des sciences, et membre de l'Académie française. Poincaré s'intéressa à sa succession dans les deux cas, mais il renoncera au secrétariat ; voir (§36.2), note 3.

<sup>2</sup>Paul Appell et Gaston Darboux. Ce dernier succéda à Joseph Bertrand en 1900 comme secrétaire perpétuel pour les sciences mathématiques. Émile Roux (1853–1933) est membre de la section d'économie rurale à l'Académie des sciences ; il dirige l'Institut Pasteur depuis 1904.

<sup>3</sup>Triaucourt est une commune du département de la Meuse.

## Chapitre 48

# Alfred Potier

Alfred Potier (1840–1905) entre en 1857 à l'École polytechnique, où son oncle Gabriel Lamé (1795–1870) est examinateur et ancien professeur de physique. En 1867 Potier devient répétiteur de physique à la même école, où Henri Poincaré sera parmi ses élèves. En 1881 il remplace Jules Jamin dans la chaire de physique. Dix ans plus tard il devient membre de la section de physique générale à l'Académie des sciences.<sup>1</sup>

Dans ses travaux, Potier s'attache à montrer la pertinence des conceptions de Fresnel sur la structure du rayonnement, et est parmi les premiers—avec Poincaré—à s'intéresser aux théories de Maxwell. Il a contribué à faire connaître la méthode d'intégration des équations à coefficients périodiques qui correspondent à la propagation de la lumière dans les milieux cristallins. On lui doit également l'explication du pouvoir rotatoire magnétique (effet Faraday).

Les premières lettres de Potier concernent une discussion à caractère polémique sur une expérience d'Otto Wiener (1890) à la Kaiser-Wilhelm-Universität de Strasbourg. En éclairant par un faisceau étendu une surface métallique sous l'incidence de  $45^\circ$ , Wiener photographie le système de franges correspondant aux interférences entre la lumière incidente et la lumière réfléchie. Il est alors en mesure d'en conclure que, conformément au modèle de Fresnel et en contradiction avec ceux de Franz Neumann (1881) et de James MacCullagh (1848), la vibration transversale de l'éther est perpendiculaire au plan de polarisation : c'est donc le vecteur électrique de la théorie électromagnétique de Maxwell qui est dans la même direction que la direction de vibration de l'éther. Mais à l'Académie des sciences Poincaré soutient que l'expérience de Wiener n'est pas décisive (1891f; 1891b), et se heurte au point de vue commun de Cornu (§ 16) et de Potier (1891b), qui estiment pertinentes les conclusions que Wiener tire de ses expériences.

L'échange épistolaire le plus important entre Poincaré et Potier concerne l'interprétation des expériences de Crémieu, qui mettaient en cause, selon Poincaré, les "idées anciennes" de J.C. Maxwell et de H. Hertz. Potier (1900) ne voit pas de contradiction entre les résultats de V. Crémieu (§ 17) et la théorie de Maxwell, alors que Poincaré croit que certaines expériences de Crémieu donnent tort à Maxwell (et à la théorie des électrons de H.A. Lorentz). En fait, Crémieu n'arrivait pas à mettre en évidence l'effet de Rowland. A la

différence de Potier, Poincaré (1901b) se sert de la théorie des électrons de Lorentz pour comprendre l'effet de Rowland :

D'après la théorie de Lorentz, les courants de conduction eux-mêmes seraient de véritables courants de convection : l'électricité serait indissolublement attachée à certaines particules appelées *électrons* ; ce serait la circulation de ces électrons à travers les corps qui produirait les courants voltaïques, et ce qui distinguerait les conducteurs des isolants, c'est que les uns se laisseraient traverser par ces électrons, tandis que les autres arrêteraient leurs mouvements. La théorie de Lorentz est très séduisante, elle donne une explication très simple de certains phénomènes dont les anciennes théories, même celle de Maxwell sous sa forme primitive, ne peuvent rendre compte d'une façon satisfaisante, par exemple, l'aberration de la lumière, l'entraînement partiel des ondes lumineuses, la polarisation magnétique, et l'effet de Zeeman.

Potier n'admettra jamais la théorie des électrons, et il reste, malgré les arguments de Poincaré, convaincu de l'erreur de Crémieu.

Notes

<sup>1</sup>Sur la vie et les travaux de Potier, voir Poincaré (1905b), et le *DSB*. La notice nécrologique faite par Poincaré est rééditée dans les *Mémoires* de Potier (1912, v-x), mais ce dernier ouvrage, lourdement édité par André Blondel (§ 8), n'est pas une source fiable pour l'étude des travaux de Potier.

## 48.1 Potier à Poincaré

[Ca. 1888–1891]

Mon cher camarade,

Le milieu diélectrique paraît bien être en réalité soumis à certaines pressions et tensions ; le verre d'un condensateur, par exemple se dilate d'une quantité proportionnelle à l'énergie totale, où chaque élément d'une quantité proportionnelle à son volume  $dv$ , et à la pression  $\frac{1}{8\pi}R^2$  ; mais jusqu'ici, on n'a pas mesuré le rapport entre les changements de volume observés, le coefficient d'élasticité et la valeur de  $R$ .<sup>1</sup> De même le diélectrique même quand il est liquide paraît devenir anisotrope, et doublement réfringent. Cela étant ainsi, votre raisonnement d'hier serait en partie fondé, et la variation d'énergie en passant d'un état à un autre devrait se composer de 2 parties, dont l'une, variation de l'énergie  $\frac{1}{8\pi} \int KR^2 dv$  étendue à tout le volume du diélectrique, est égale au travail des forces réelles appliquées aux conducteurs qui le limitent, et l'autre proviendrait de la modification de l'état de tension de celui-ci.<sup>2</sup>

Cette partie est absolument négligée par Maxwell, parce qu'il fait semblant d'ignorer les faits ci-dessus et qu'il déclare § 110 que le diélectrique n'étant pas chargé à son intérieur aucune force n'est appliquée à chaque élément de volume ; on peut aussi bien dire que si le diélectrique est incompressible, et la matière immobile, le changement des tensions ne produit aucun travail, et que cette seconde partie est négligeable.<sup>3</sup> Je crois bien qu'il en est ainsi, et que ces phénomènes ne sont pas la cause de l'existence du coefficient  $K$ , mais simplement des accessoires, des perturbations, comme on en trouve toutes les fois que la

matière pondérable intervient, et qu'ils sont de l'ordre des écarts que l'on observe entre les lois théoriques et la réalité, mais qui s'expliqueraient assez bien dans l'hypothèse de Poisson ou de Mosotti sur l'origine du coefficient  $K$ .<sup>4</sup>

Je passe maintenant à la formule du vrai courant,  $u = p + \frac{\partial f}{\partial t}$ , et je dis que rien ne la justifie ; qu'elle ne fait pas partie intégrante de la théorie de Maxwell ;<sup>5</sup> ce qui est fondamental, c'est que le changement de polarisation du diélectrique, ou que la variation du déplacement est un courant, et non autre chose : si en désignant par  $f, g, h$  le déplacement, je pose  $u = \frac{\partial f}{\partial t}$ , et

$$\frac{4\pi}{K} f + \frac{1}{c} u = P \quad (1)$$

$P$  étant la composante de la force électromotrice il n'y aura rien de changé aux équations qui se rapportent à des cas où  $K = \infty$  conducteurs, et où  $c = \infty$ , diélectriques.<sup>6</sup> Reste donc le seul cas du § 798 ; mais en faisant cette supposition, on retrouve néanmoins que les vibrations seront propagées par ce milieu avec absorption „∞“. <sup>7</sup> Peut être serez vous choqué de me voir poser  $c = \infty$  pour des isolants ; mais ceux-ci sont en réalité caractérisés par l'existence de  $K$  et il faut bien qu'ils soient dépourvus de résistance, s'ils sont parfaitement élastiques au point de vue électrique, et restituent toute l'énergie qui leur a été confiée. Je ne tiens pas absolument à l'équation (1) mais je ne vois pas quel changement son adoption entraînerait, et je crois qu'on pourrait encore en proposer d'autres.

Je vous prie, si vous croyez qu'il peut vous être utile de causer avec moi, de considérer que je m'en trouverai toujours très honoré.

A. Potier

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>L'expression de la pression vient de Maxwell (1873, § 106).

<sup>2</sup> $K$  signifie la constante diélectrique, ou comme Potier l'appelle, le pouvoir inducteur spécifique.

<sup>3</sup>Selon Maxwell (1873, § 110) : "The state of stress which we have been studying is perfectly consistent with the mobility and equilibrium of the fluid, for we have seen that, if any portion of the fluid is devoid of electric charge, it experiences no resultant force from the stresses on its surface, however intense these may be."

<sup>4</sup>Ottaviano Mossotti (1791–1863) fut professeur de mathématique, d'astronomie théorique et de géodésie à l'université de Pise. Comme l'observe Poincaré (1890–1891, I, 42), Mossotti transpose le modèle de Poisson pour expliquer le magnétisme au cas des diélectriques.

<sup>5</sup>A propos du "true current", voir Maxwell (1873, § 610).

<sup>6</sup>Dans la formule (1),  $c$  est la conductibilité électrique.

<sup>7</sup>Il s'agit d'un paragraphe du *Treatise* intitulé "Relation between Electric Conductivity and Opacity."

## 48.2 Potier à Poincaré

[Ca. 02–21.03.1891]

Cher Monsieur,

C'est contre la discontinuité que je protestais :<sup>1</sup> la question est d'ailleurs pleine d'embûches car si j'accepte votre valeur de  $\frac{d^2\xi}{dt^2}$ , il faut que  $a$  et  $b$  soient positifs ; alors en désignant par  $n - gi$  le rapport de  $\mu$  à  $ip$  on a

$$(n - gi)^2(a + bip) = 1$$

ce qui donne si je ne m'abuse

$$n^2 - g^2 = \frac{a}{a^2 + b^2 p^2}$$

il faut donc que  $n$  soit plus grand que  $g$ .<sup>2</sup>

Cette théorie demande seulement que  $n^2 + g^2$  soit grand pour que le pouvoir réflecteur soit voisin de 1, et la phase de 0 ou  $\frac{1}{2}$ .

Quand au mécanisme de l'absorption, il me paraît si bien lié à l'émission, et s'expliquer si bien par la communication du mouvement à un système capable de périodes déterminées que l'idée de la viscosité ne me séduit guère.<sup>3</sup>

J'ajoute que dans la théorie de la densité constante, l'emploi de la couche de transition dans la théorie de la réflexion ne conduit qu'à des impossibilités pour les corps transparents,<sup>4</sup> pour les vibrations dans le plan d'incidence ; en faisant  $\lambda + 2\mu = 0$  dans les équations générales, puis  $\mu$  variable (notations de Lamé), on arrive à des incompatibilités quand on veut exprimer que les déplacements restent finis.<sup>5</sup> Aussi me suis-je borné en indiquant votre hypothèse, dans le prochain n° du *Journal de Physique*, à dire qu'une amplitude réfractée considérable (à peu près double de l'incidente) pouvait coïncider avec une grande viscosité, si la vitesse, ou la longueur d'onde est grande et par suite les déplacements relatifs très faibles, de telle sorte que l'énergie absorbée par suite de cette viscosité peut encore être une petite fraction de la lumière incidente.<sup>6</sup> C'est je crois l'esprit de votre note,<sup>7</sup> et j'ai voulu éviter les calculs aux lecteurs du *Journal de Physique* d'abord et 1° parce qu'ils ne les aiment pas, puis 2° que l'inégalité  $n^2 > g^2$  ne paraît pas vérifiée par l'expérience, qui donne pour  $g$  des nombres variant entre 3 et 4. Une valeur de  $g = 10$  serait pratiquement infinie pour les physiciens.

Votre lettre fait allusion à des expériences de Becquerel, je pense que c'est sa thèse,<sup>8</sup> et les belles expériences sur les mélanges dont vous voulez parler ; mais Fresnel avait bien vu, dans la tourmaline (c'est un de ses arguments) que l'absorption est fonction de la vitesse, et c'est une notion courante que dans tous les cristaux polychroïques, il en est ainsi ; on montre dans les cours que la lumière polarisée dans le plan  $XY$  a la même couleur que le rayon soit  $OX$  ou  $OY$  ; c'est donc le vecteur perpendiculaire au plan de polarisation qui détermine à la fois la vitesse et l'absorption, chose peu étonnante pour un analyste ; il serait surprenant que la partie réelle et la partie imaginaire de l'indice (qui ne peut entrer que par son carré) fussent des fonctions de 2 vecteurs différents.

Voilà pour la théorie mécanique, basée sur l'hypothèse d'un éther élastique, et à laquelle je voudrais bien pouvoir avoir provisoirement confiance mais vous me parlez aussi de la théorie électromagnétique, dont je vois que vous voudriez arriver aussi à faire une théorie mécanique.<sup>9</sup> Il me paraît que si l'on adopte les idées actuelles, l'énergie mécanique du courant  $\frac{1}{2}LI^2$  est cinétique, mais alors la perméabilité magnétique  $\mu$  jouerait le rôle d'une inertie soit de translation, soit de rotation, et le coefficient  $K$ , à cause de  $K\mu = \frac{1}{v^2}$ , serait l'inverse d'une élasticité ; et nous retomberions dans la théorie de Neumann. J'avoue que je ne suis pas à la hauteur de la tâche, je crois cependant que l'on arrivera à concilier les deux théories, le jour où l'on n'assimilera plus autant qu'on le fait aujourd'hui, l'éther à la matière pondérable ; il est bien difficile de concevoir en dehors de nos perceptions, et

cependant il faudra bien qu'un génie nous ouvre la voie dans ce sens. N'est ce pas déjà une chose admirable que par deux voies aussi différentes, on arrive à la presque certitude de l'existence d'un milieu autre que la matière ?

Je me suis un peu, et même beaucoup laissé aller, mais je pense que le sujet vous intéresse assez, malgré votre scepticisme, pour que vous m'excusiez.

Votre bien dévoué,

A. Potier

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Dans une note publiée le 02.03.1891, Poincaré (1891b) identifie comme le "point faible" du raisonnement de Potier 1891b sur l'expérience de Wiener le fait d'avoir pris une fonction discontinue pour une fonction continue.

<sup>2</sup>Potier remplace mal à propos les coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$  de l'équation de Neumann par les  $a$ ,  $b$  de l'équation de Fresnel.

<sup>3</sup>L'hypothèse de Neumann de la densité constante implique une viscosité variable.

<sup>4</sup>Potier reviendra sur ce point de vue : l'hypothèse de Neumann se prête mieux au cas des corps transparents qu'à celui des métaux § 48.4.

<sup>5</sup>Les coefficients d'élasticité de Lamé  $\lambda$  et  $\mu$  interviennent dans l'expression de l'énergie potentielle d'un élément de volume d'éther soumis à une vibration. Le fait que  $\lambda + 2\mu = 0$  signifie que la possibilité de vibrations longitudinales est éliminée (Poincaré, 1892g).

<sup>6</sup>Potier (1891a), paru au mois de mars 1891.

<sup>7</sup>Poincaré (1891b).

<sup>8</sup>Becquerel (1888).

<sup>9</sup>Poincaré (1889–1892, II, 1–8) fait un tableau de correspondance des quantités électromagnétiques et des quantités mécaniques. Dans l'hypothèse de Fresnel, la constante diélectrique  $K$  correspond à la densité  $\rho$  de l'éther ; à la perméabilité magnétique  $\mu$  correspond l'inverse du coefficient d'élasticité de Lamé (également noté  $\mu$ ). Dans l'hypothèse de Neumann, à  $K$  correspond  $\frac{1}{\mu}$  (notation de Lamé) ; à  $\mu$  (perméabilité magnétique) correspond  $\rho$ .

## 48.3 Potier à Poincaré

Dimanche 22 mars 1891

Cher Monsieur,

Des examens de l'École des Mines m'ont occupé hier, et avant hier, je n'ai pas eu le loisir de vous répondre plus tôt.<sup>1</sup>

Les formules des réflexions métalliques donnent en posant

$$n + gi = \Theta e^{\varepsilon i}, \text{ et } U^2 e^{2ui} = \Theta^2 e^{2\varepsilon} - \sin^2 i,$$

pour le rapport des vibrations polarisées dans les deux azimuths principaux<sup>2</sup>

$$\frac{\cos i U e^{ui} - \sin^2 i}{\cos i U e^{ui} + \sin^2 i}.$$

Sous l'incidence principale  $I$ ,  $U = \sin I \operatorname{tg} I$ , le rapport purement imaginaire se réduit à  $i \operatorname{tg} \frac{u}{2}$ . Jamin, Quincke et autres ont mesuré le rapport des amplitudes ( $\operatorname{tg} \beta$  de Jamin)



ainsi que  $I$ , on en déduit<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}(n + gi)^2 &= \sin^2 I(1 + \operatorname{tg}^2 I e^{4\beta i}) \\ n^2 - g^2 &= \sin^2 I(1 + \operatorname{tg}^2 I \cos 4\beta)\end{aligned}$$

Pour l'argent  $I$  varie de  $75^\circ$  (rouge) à  $66^\circ$  (violet)  $\operatorname{tg} I$  de 3,7 à 2,3 et  $\beta$  varie de  $41$  à  $40^\circ$ . Le  $\cos 4\beta$  est donc  $-0,95$ ,  $\operatorname{tg}^2 I \cos 4\beta$  est négatif et plus grand que 1.

Même résultat pour le métal des miroirs  $\operatorname{tg} I$  varie de 4 à 3,  $\beta$  oscille autour de  $28^\circ$ , soit  $\cos \beta = -0,38$ .

Pour le zinc et l'acier  $\beta$  est voisin de  $20^\circ$  et  $\cos 4\beta$  positif d'où  $n^2 > g^2$ .

La valeur de  $n$  (argent) est environ de  $1/4$ , ce qui se rapproche singulièrement du résultat trouvé par Kundt, par la méthode du prisme.[\*]<sup>4</sup>

Je pensais donc me rapprocher de la réalité en considérant dans un milieu fortement réfléchissant la longueur d'onde comme grande et appuyer votre *hypothèse Neumann*, en montrant que la grande viscosité  $b$  pourrait même dans ce cas n'entraîner qu'une faible consommation d'énergie; cette consommation me paraît donnée par la valeur moyenne de

$$b \frac{\partial^3 \xi}{\partial z^2 \partial t} \cdot \frac{\partial \xi}{\partial \tau},$$

soit à période égale par celle de  $b \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \xi$ , intégrée depuis  $z = 0$ , surface du métal, jusqu'à l'infini; c'est à dire  $\frac{b}{2g}(n^2 - g^2)$  ou  $na$ . L'hypothèse du petit indice, ou de la longueur d'onde très grande, me paraissait favorable à la thèse (que je combats) et plus conforme à la réalité. Elle donne du reste à l'amplitude réfléchie

$$\frac{(1 - n)^2 + g^2}{(1 + n)^2 + g^2}$$

une valeur très voisine de l'unité.

Quant à la présence d'un coefficient négatif, je pense qu'on peut l'attribuer à l'action de la matière pondérable; si on suppose le mouvement  $\Xi$  de celle-ci déterminé par une équation<sup>5</sup>

$$\alpha \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} + \beta \frac{\partial \xi}{\partial t} - \dots = (\Xi - \xi) + a \frac{\partial \Xi}{\partial t} + b \frac{\partial^2 \Xi}{\partial t^2} + \dots \quad (1)$$

Soit en appelant comme vous  $i p$  l'exposant dépendant du temps

$$\Xi = \xi f(p)$$

on a pour déterminer les  $\xi$  des équations de<sup>6</sup>

$$\Delta^2 \xi - \frac{\partial \Theta}{\partial x} = \xi f(p) \quad (2)$$

et il est assez facile de faire des hypothèses vraisemblables sur l'origine des  $\alpha, \beta, \dots a, b$ , donnant pour les coefficients de  $\xi$  une valeur imaginaire, avec partie réelle positive,

ou négative à volonté : si de plus on suppose que non seulement  $\Xi$ , mais les 2 autres composantes entrent dans l'équation (1), les équations (2) deviennent

$$\begin{aligned} \Delta^2 \xi - \frac{\partial \Theta}{\partial x} &= \xi f(p) + \eta f_1(p) + \zeta f_2(p) \\ \dots\dots\dots & \\ \dots\dots\dots & \end{aligned} \tag{3}$$

et l'on voit aisément que les seconds membres doivent être les dérivées d'une fonction quadratique des  $\xi, \eta, \zeta$ , de sorte que cette forme générale (3) explique la double réfraction, la dispersion, anormale ou non, avec terme de Briot pour les corps transparents, la réfraction et la réflexion, cristalline ou non, en conduisant aux formules de Fresnel, et sa direction de vibration. C'est aussi simple, aussi condensé que possible, et je ne vois rien qui puisse se comparer à cela : c'est pourquoi je continue à penser que ces équations représentent réellement les phénomènes lumineux ; que les  $\xi, \eta, \zeta$  soient réellement des déplacements des particules d'un éther je l'ignore ; mais on doit le supposer si on veut expliquer mécaniquement ces équations (3) qui me paraissent avoir un caractère expérimental, si on y joint la notion que l'intensité est proportionnelle à  $\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2$ .

Je vous remercie de l'indication de Voigt ; je n'ai pas les *Annales de Göttingen* sous la main, et avoue n'y avoir jamais rien lu, ayant eu des reproductions des mémoires de Weber et de Gauss à part.<sup>7</sup>

Je suppose que vous avez remarqué que les 2 formes<sup>a</sup>

$$\frac{1}{2} \varepsilon \left[ \left( \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + \dots - 4 \left[ \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \zeta}{\partial z} + \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial z} + \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right] \right] d\tau$$

et

$$\frac{1}{2} \varepsilon \left[ \left( \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + (\dots)^2 + (\dots)^2 \right] d\tau$$

de l'énergie potentielle sont équivalentes, quand on fait l'intégration dans un espace limité par une surface où  $\xi, \eta, \zeta$  sont nuls, à condition que  $\varepsilon$  reste le même dans tout l'espace ; qu'il n'y ait pas de surface de séparation ; sinon les 2 expressions diffèrent par des intégrales de *surface* où entrent les quantités qui vous préoccupent.<sup>8</sup> Il y a peut-être là une solution pour la difficulté dont vous m'entretenez ; j'espère à votre retour à Paris, que nous pourrons en causer.

Votre bien dévoué,

A. Potier

[\*] J'ajoute que pour les corps avec bande d'absorption intense, l'indice s'abaisse dans le voisinage de la bande (fuchsine).

**ALS 4p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Potier soutenait le point de vue selon lequel, sous l'incidence normale, il y a continuité entre la vibration incidente, réfléchiée et réfractée, la dernière étant la somme des deux premières (Potier, 1891a). Dans sa note du

<sup>a</sup>Nous rétablissons dans la première formule le crochet final, absent du manuscrit.

02.03.1891, Poincaré démontre que, dans l'hypothèse de Neumann, la fonction qui représente le déplacement local de l'éther est discontinue lors du passage de la lumière de l'air au métal (1891b). Il met surtout en question l'interprétation qui est faite de l'expérience de Wiener (1890), à savoir que le déplacement local de l'éther serait perpendiculaire au plan de polarisation ; Poincaré avait exprimé ses doutes à ce propos dans une note du 09.02.1891 (1891f), en réponse à une note d'Alfred Cornu (1891b).

Dans ce but, il étudie les équations du mouvement de l'éther lors de la réflexion métallique. Il écrit l'équation du mouvement d'après Fresnel sous la forme

$$a \frac{d^2\xi}{dt^2} + b \frac{d\xi}{dt} = \frac{d^2\xi}{dz^2}.$$

Cette équation correspond aux hypothèses suivantes : la vibration est perpendiculaire au plan de polarisation, l'élasticité de l'éther est constante d'un milieu à l'autre, l'absorption de la lumière par le métal est due à une résistance proportionnelle à la vitesse des "molécules" d'éther (terme  $b \frac{d\xi}{dt}$ ). Il écrit l'équation du mouvement selon Franz Neumann (1881), sous la forme

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = \frac{d}{dz} \left( \alpha \frac{d\xi}{dz} + \beta \frac{d^2\xi}{dz dt} \right).$$

Dans ce cas la vibration est parallèle au plan de polarisation, la densité de l'éther est constante d'un milieu à l'autre et l'absorption serait due à une résistance qui dépendrait de la vitesse relative des molécules d'éther les unes par rapport aux autres. Cela revient alors à concevoir autant d'éthers différents par leur élasticité et leur viscosité qu'il y a de corps différents. Poincaré estime qu'il n'existe pas d'argument décisif entre les modèles de Fresnel et de Neumann.

Quant à Potier, il tente de montrer les difficultés qui apparaissent dans l'hypothèse de Neumann. Dans ces équations  $n$  est l'indice de réfraction,  $g$  le coefficient d'absorption,  $p = 2\pi\nu$  où  $\nu$  est la fréquence de la lumière,  $\mu = \sqrt{\frac{-p^2}{\alpha + \beta i p}}$ .

<sup>2</sup>Dans le cas des métaux où la lumière est fortement absorbée, l'indice est mis sous la forme d'un nombre complexe dont la partie réelle  $n$  représente la réfraction et la partie imaginaire  $g$  l'absorption (voir la première lettre de Potier). Une surface métallique réfléchit une lumière de polarisation rectiligne en une lumière de polarisation dite elliptique composée d'une vibration située dans le plan d'incidence et une vibration perpendiculaire à ce plan. C'est du rapport entre ces deux vibrations dont il est question ici ; les paramètres  $u$  et  $U$  ont été introduits par Cauchy et explicités par Potier (1872a; 1872b), ainsi que par Maxwell (1873). Ces deux vibrations varient suivant l'angle d'incidence. Un déphasage de  $\pi/2$  correspond à une incidence  $I$  dite principale. Dans ces formules, il y a une confusion possible entre  $i = \sqrt{-1}$  et  $i$  en tant qu'angle d'incidence.

<sup>3</sup>Jules Jamin (1818–1886) est professeur de physique à la Sorbonne. Georg Quincke (1834–1924) est professeur de physique à Heidelberg.

<sup>4</sup>August Kundt (1839–1894) dirige le Physikalische-Technische Reichsanstalt. Il s'agit d'une méthode pour mesurer le déphasage entre les deux composantes de vibration de la lumière elliptique. Elle consiste à faire interférer les deux parties d'un même faisceau dont l'un a subi une réflexion vitreuse sur la base d'un prisme et l'autre une réflexion métallique sur cette même base ; voir Potier (1872a).

<sup>5</sup>Poincaré voit "une très grande difficulté" dans le fait que  $n^2 < g^2$  car cela entraînerait une valeur négative pour le pouvoir inducteur spécifique  $K'$  du métal (Poincaré, 1889–1892, II, 90).

<sup>6</sup>En théorie de l'élasticité,  $\Theta = \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial z}$ .

<sup>7</sup>Ancien élève de Franz Neumann, Woldemar Voigt (1850–1919) est professeur de physique mathématique à Göttingen. Il développe dès 1883 une théorie de la lumière dans laquelle l'éther est assimilé à un solide élastique (Jungnickel et McCormmach 1986, II, 116–118). Dans les *Nachrichten* de Göttingen, Voigt publie souvent sur cette théorie ; voir, par exemple (Voigt, 1884b,a).

<sup>8</sup>En notation moderne, on peut exprimer le potentiel élastique  $\frac{1}{2\varepsilon} (\vec{\nabla} \times \vec{\eta})^2$ . A condition de mettre la constante d'élasticité  $\varepsilon$  dans le dénominateur, la formule de Potier est équivalente à celle de James MacCullagh (1848) ; voir Darrigol (2000a, 190) et Whittaker (1951–1953, I, 142–144).

## 48.4 Potier à Poincaré

[Après le 22.03.1891]

Je crains de vous avoir fait perdre votre temps. Les formules de Neumann se prêtent, et c'est évident à priori, à l'hypothèse de la couche de transition pour les milieux transparents et donnent les résultats connus.

C'est pour les métaux que j'ai eu des difficultés. Je vois bien qu'en posant <sup>1</sup>

$$\varrho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( a - b \frac{\partial}{\partial t} \right) u \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( a - b \frac{\partial}{\partial t} \right) w \right]$$

j'arrive au même résultat qu'en prenant, dans la théorie de Fresnel

$$\varrho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} + \lambda \frac{\partial \xi}{\partial t} = \Delta \xi - \frac{\partial \Theta}{\partial x}.$$

Mais la forme qui convient au milieu visqueux n'est-elle pas

$$\varrho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial z} (au) - \frac{\partial}{\partial y} (aw) - \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{\partial}{\partial x} b \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} b \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} b \frac{\partial \xi}{\partial z} \right]$$

Ce qui exige la continuité de

$$au - b \frac{\partial \xi}{\partial z \partial t}, av - b \frac{\partial \eta}{\partial z \partial t}, b \frac{\partial \zeta}{\partial z \partial t}, \xi, \eta, \zeta$$

c'est à dire beaucoup trop de conditions ; c'est cela que j'avais en vue quand je vous ai écrit, et non les corps transparents ; je l'ai oublié tantôt et vous demande pardon de cet oubli.<sup>2</sup>

A. Potier

### ALS 1p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Les déplacements locaux peuvent être décomposés en une translation (coordonnées  $\xi, \eta, \zeta$ ) et une rotation (coordonnées  $a, b, c$  du vecteur rotation).  $u, v$ , et  $w$  sont définis par  $\frac{1}{\mu} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\partial \eta}{\partial z} = a$ ,  $\frac{1}{\mu} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial \xi}{\partial z} - \frac{\partial \zeta}{\partial x} = b$ ,  $\frac{1}{\mu} \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \xi}{\partial y} = c$ ,  $\mu$  est un coefficient d'élasticité de Lamé,  $\Theta = \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial z}$ . Voir Poincaré (1889–1892, II, 16).

<sup>2</sup> Voir la lettre de Potier (§ 48.3).

## 48.5 Potier à Poincaré

[Ca. 1892]

Mon cher confrère,

C'est dans les *Annales de l'École Normale Sup* 2<sup>e</sup> Série Tome VI qu'est la thèse de M. Mouton.<sup>1</sup>

Il mesure, avec un électromètre à quadrants, la diff. de potentiel des 2 extrémités du fil induit d'une bobine de Ruhmkorff. Le courant inducteur est interrompu régulièrement aux

époques  $0, \tau, 2\tau, 3\tau \dots$  et la communication entre le fil et l'électromètre aussi régulièrement (pendant un instant très court) aux époques  $t, t + \tau, t + 2\tau, t + 3\tau$ .

Il trouve : 1° que la diff. de potentiel s'accuse dès que  $t = 4^s \cdot 10^{-6}$

2° les oscillations sont synchrones, sauf la première, toujours plus longue ; la charge de l'électromètre est de la forme

$$e^{-\alpha t} \sin 2\pi \frac{t}{\theta}.$$

$\theta$  est indépendant de l'intensité et du nombre de tours du courant inducteur.

1<sup>re</sup> bobine : 13860<sup>tours</sup> de fil de 0<sup>mm</sup>,25, longueur 2500.

$R = 942^\omega$  longueur 15<sup>c</sup>, diamètre extérieur 7<sup>c</sup>,5.

2<sup>e</sup> bobine—mêmes dimensions. 7260 spires, fil de 0<sup>mm</sup>,4,  $R = 164^\omega$ .

$\theta$	Première période pour la	première bobine	112.10 <sup>-6</sup> à 108.10 <sup>-6</sup> secondes
		2 <sup>e</sup> bobine	35.10 <sup>-6</sup>
		première bobine	76 à 77.10 <sup>-6</sup>
		2 <sup>e</sup> bobine	23 à 25

Le fer doux introduit dans la bobine inductrice augmente la 1<sup>re</sup> période, mais non les autres.

Il remarque que

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \left( \frac{\text{Longueur du fil}}{\text{diamètre}} \right)^{1^{\text{er}} \text{ fil}} : \left( \frac{\text{Longueur}}{\text{diamètre}} \right)^{2^{\text{e}} \text{ fil}}$$

Pour la première période, la valeur du maximum de  $E$  croit plus vite que l'intensité de l'inducteur, mais  $\int E dt$  lui est proportionnelle.

Il a pu obtenir jusqu'à 30 périodes.

(V. les *Ctes Rendus* 3 janvier, 12 juin et 10 juillet 1876)<sup>2</sup>

C'est le  $C$  qui est inconnu, et le  $L$  est compliqué d'induction mutuelle.

Votre bien dévoué,

A. Potier

#### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Il s'agit de la thèse de Louis Mouton (1877), membre non résidant du conseil de la société française de physique en 1892 (*Bulletin des séances de la société française de physique* 1892, 301).

<sup>2</sup>Mouton (1876c,a,b). Poincaré (1894a, 37-39, 214) fait état des travaux de Mouton dans son cours du premier trimestre 1892-1893.

## 48.6 Potier à Poincaré

[Ca. 04.12.1900]<sup>1</sup>

Cher Confrère,

L'image ci-dessous (fig. 1) vous paraîtra-t-elle satisfaisante ? Quand un point électrisé de masse  $m$  se meut, le champ magnétique a pour valeur  $\frac{mv \sin \alpha}{r^2}$  ; il est dépourvu de potentiel et il est facile de constater que  $\int H_s ds$  le long d'un cercle dont l'axe est  $v$  est

bien la dérivée, par rapport au temps, du flux d'induction électrique à travers ce cercle. Les lignes de courant de déplacement arrivent toutes en  $m$  pour s'épanouir dans l'espace.

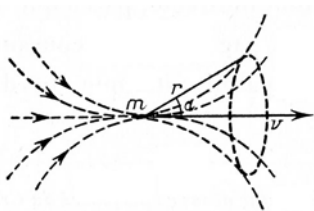


Figure 1

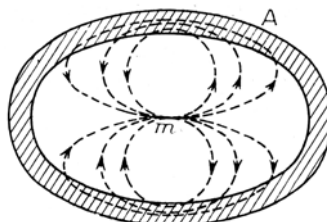


Figure 2

Entourons  $m$  d'un écran conducteur (fig. 2) ; toutes les lignes de courant vont se fermer par la surface interne de celui-ci, et si je décris une courbe fermée passant par  $A$ , enveloppant ou non le conducteur, mais ne pénétrant pas dans l'espace vide où se trouve  $m$ , le flux total d'induction à travers cette courbe sera nul, puisque les lignes de courant sont fermées à l'intérieur de l'écran ; c'est là la différence essentielle. Ainsi, il y a un potentiel magnétique uniforme à l'extérieur de l'écran. Supposez-le de révolution autour de  $v$ , et la force magnétique en  $A$  devra être nulle. Il est plus long de le démontrer pour une forme quelconque, mais cela suffit pour mettre en évidence le rôle de l'écran.<sup>2</sup>

Votre dévoué,

A. Potier

**PTrL. Poincaré et Potier (1902, 83–84), Poincaré (1916–1956, X, 422–423).**

<sup>1</sup> Il s'agit de la première d'une série de huit lettres publiées le 19.04.1902 (Poincaré et Potier, 1902), à propos des expériences de Crémieu (§ 17).

<sup>2</sup> Potier suggère donc que l'absence d'effet magnétique dans les expériences de Crémieu provient de l'existence d'un écran conducteur dont l'effet est d'annuler le flux d'induction à travers toute surface comprenant l'écran conducteur.

## 48.7 Poincaré à Potier

[Ca. 05.12.1900–13.01.1901]<sup>b</sup>

Mon cher Confrère,

Il était convenu que je vous écrirais le résultat de mes réflexions sur notre conversation de dimanche.

La question en litige était de savoir si les expériences de Crémieu sont ou non contraires aux idées anciennes.<sup>1</sup>

Pour cela, il faut d'abord savoir ce que c'est que « les idées anciennes. »

Ne les cherchons pas dans Maxwell où on trouve tout ce qu'on veut ; admettons que par définition les « idées anciennes » ce sont les idées de Hertz.

<sup>b</sup> Le manuscrit comporte des annotations en crayon de main inconnue, en rapport avec son édition dans *L'Éclairage électrique* (du soulignement, de l'introduction de parenthèses, et des traductions de l'allemand vers le français).

Mais quelles sont les idées de Hertz ?

Sur ce point nous sommes je crois en désaccord.

En relisant le mémoire de Hertz en rentrant, je n'ai fait que me confirmer dans ma manière de voir. Je prends le mémoire *Grundgleichungen für bewegte Körper*, et les pages de mes citations se rapportent à l'édition *Untersuchungen ueber die Ausbreitung der Elektrischen Kraft*, Leipzig Barth 1892 : page 264. Den ganzen elektrodyn. Theil der Kraft (magnétique) *erhalten wir wenn wir in dem Ausdruck  $4\pi Au$  (le courant total) ersetzen durch*

$$4\pi Au + A \frac{d\mathfrak{X}}{dt} + A\alpha \sum \frac{d\mathfrak{X}}{dx}$$

*Der letzte Theil dieser Aussage findet in der Rowland'schen Versuche die gewünschte Bestätigung.*<sup>2</sup>

$A$  est un coeff. num. =  $\frac{1}{3.10^{10}}$  ; mais qu'est-ce qu' $\alpha$  ? C'est la vitesse de la matière ; page 258.

*Wo wir im Raume greifbare Materie finden, entnehmen wir der Bewegung dieser eindeutig die Werthe der  $\alpha\beta\gamma$ .*

Qu'est-ce que  $\sum \frac{d\mathfrak{X}}{dx}$  ; c'est la densité de l'électricité vraie ; remarquer que Hertz met un  $\mathfrak{X}$  gothique que je ne sais pas faire.

Donc  $\sum \frac{d\mathfrak{X}}{dx}$  représente la charge du disque au sens vulgaire du mot et  $\alpha$  sa vitesse au sens vulgaire du mot.

Il n'y a donc aucun doute sur la pensée de Hertz.<sup>3</sup>

Maintenant, que devait-il se passer d'après les idées anciennes ?

Votre raisonnement (il ne s'agit pas encore du raisonnement contenu dans votre lettre, ceci était écrit avant que je l'eusse reçu) ne m'a pas convaincu.<sup>4</sup>

J'admets bien que si la vitesse est faible, la *distribution électrique* sera la même sensiblement qu'à l'état statique ; mais non que le *déplacement électrique* sera le même qu'à l'état statique. Si  $\mathfrak{X}$ ,  $\mathfrak{Y}$ ,  $\mathfrak{Z}$  représentent la force électrique, j'admets bien que

$$\frac{d\mathfrak{X}}{dx} + \frac{d\mathfrak{Y}}{dy} + \frac{d\mathfrak{Z}}{dz}$$

est le même qu'à l'état statique, mais non que  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  sont les mêmes qu'à l'état statique parce que je n'admets pas que

$$\int (\mathfrak{X}dx + \mathfrak{Y}dy + \mathfrak{Z}dz) = 0.$$

Cela serait vrai s'il n'y avait que des courants permanents, cela ne sera pas vrai dans un régime variable.

Maintenant voici ce que je trouve.

Considérons un appareil tel que celui de Rowland ou de Crémieu (3<sup>e</sup> communication).<sup>5</sup> Il y a des parties isolantes et des parties conductrices, les une fixes, les autres mobiles ; mais de telle façon qu'il n'y ait pas de contact glissant. Il y a en outre un système astatique ; on observe l'effet *moyen* éprouvé par ce système.

Dans cet appareil règnent des courants « de convection » et de conduction. Je dis que l'effet moyen des courants de conduction dans la partie fixe est nul. Je considère un contour fermé quelconque à l'intérieur d'une partie conductrice soit fixe, soit mobile, soit

$$\int (\mathfrak{X}dx + \mathfrak{Y}dy + \mathfrak{Z}dz)$$

l'intégrale de la force électromotrice le long de ce contour. C'est  $\frac{dJ}{dt}$ ,  $J$  étant le flux magnétique qui traverse le contour. Si j'appelle  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ,  $\bar{Z}$  les valeurs moyennes de  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , alors

$$\int (\bar{X}dx + \bar{Y}dy + \bar{Z}dz) = 0$$

parce que  $J$  est une fonction périodique du temps.

On aura donc

$$\bar{X} = \frac{d\bar{V}}{dx}, \bar{Y} = \frac{d\bar{V}}{dy}, \bar{Z} = \frac{d\bar{V}}{dz}$$

$\bar{V}$  étant ce que j'appellerai le potentiel moyen. Si alors  $\underline{u}$ ,  $\underline{v}$ ,  $\underline{w}$  sont les composantes du courant  $\underline{\bar{u}}$ ,  $\underline{\bar{v}}$ ,  $\underline{\bar{w}}$  leurs valeurs moyennes,  $C$  la conductibilité, on aura :  $u = CX$  d'où  $\bar{u} = C \frac{d\bar{V}}{dx}$ .

Si la partie conductrice est homogène et que  $\bar{C}$  soit une constante, on aura :  $C\Delta\bar{V} = \sum \frac{d\bar{u}}{dx}$ . Or  $\sum \frac{d\bar{u}}{dx}$  est nul ; car  $\sum \frac{du}{dx} = \frac{d\rho}{dt}$ ,  $\rho$  densité électrique et  $\rho$  varie périodiquement. Donc  $\Delta\bar{V} = 0$ .

Or la surface qui limite la partie conductrice considérée peut être divisée en deux parties. Dans la première elle est en contact avec un diélectrique, la composante normale *moyenne* du courant de conduction est nulle, parce que la densité superficielle doit varier périodiquement. Donc  $\frac{d\bar{V}}{dx} = 0$ . Dans la seconde elle est *largement* reliée au sol ou à une source d'électricité. On a  $\bar{V} = \text{const}$ . Donc à l'intérieur on aura partout  $\bar{V} = \text{const}$ . Donc  $\bar{u} = \bar{v} = \bar{w} = 0$ .

Ou mieux, *ne supposons plus notre conducteur homogène* ce qui sera plus général et en même temps nous permettra de prendre une couche de passage.  $C$  n'est plus une constante. Mais on a

$$\sum \frac{d\bar{u}}{dx} = \sum \frac{d}{dx} C \frac{d\bar{V}}{dx} = 0$$

On aura donc :<sup>c</sup>

$$\int C (\bar{V} - V_0) \frac{d\bar{V}}{dx} d\omega = \int (\bar{V} - V_0) \sum \frac{d}{dx} C \frac{d\bar{V}}{dx} d\tau + \int \sum C \left( \frac{d\bar{V}}{dx} \right)^2 d\tau.$$

<sup>c</sup>Variante :

$$\int C \bar{V} \frac{d\bar{V}}{dx} d\omega = \int \bar{V} \sum \frac{d}{dx} C \frac{d\bar{V}}{dx} d\tau.$$



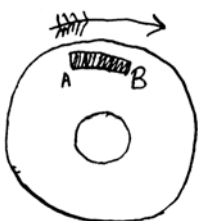
$V_0$  étant le potentiel constant de la source. Les intégrales du 2<sup>d</sup> membre sont étendues à tous les éléments  $d\tau$  d'un volume  $T$  et celle du premier membre à tous les éléments  $d\omega$  de la surface  $S$  qui limite ce volume. Quant à  $S$ , elle se composera de 2 parties l'une dans le diélectrique en dehors de la couche de passage ( $C = 0$ ) l'autre dans la partie largement reliée à la source ( $\bar{V} = V_0$ ).

Donc la 1<sup>re</sup> intégrale = 0, la 2<sup>de</sup> également. Donc

$$\int \sum C \left( \frac{d\bar{V}}{dx} \right)^2 d\tau = 0.$$

Donc  $\frac{d\bar{V}}{dx} = 0$   $\bar{u} = \bar{v} = \bar{w} = 0$ .

Dans un conducteur mobile, le courant moyen est également nul, mais il n'est pas certain que son effet moyen soit nul, parce qu'il bouge.



Voyons maintenant les objections possibles : 1° Voici deux disques circulaires métalliques  $D$  et  $D'$  au sol ; entre les deux tourne une masse électrisée  $M$ . Cette masse induit sur  $D$  et  $D'$  des charges  $C$  et  $C'$  qui tournent avec elle ; il semble que les courants correspondants à ces charges contrebalancent le courant de convection dû à  $M$ .

Je couvre de hachures la partie du disque qui est ainsi électrisée par influence. Si le disque tourne dans le sens de la flèche, la charge se déplace dans ce même sens ; d'où l'on pourrait conclure qu'il y a un courant de conduction dans ce sens et

dans ce sens seulement. Ce serait une erreur ; il y a un fort courant de conduction dans ce sens ; mais il y a un faible courant de conduction dans le sens contraire qui fait tout le tour du disque. Ce courant est plus faible, mais il est plus long ; en chaque point du disque il règne plus longtemps que le courant fort, de sorte qu'il y a compensation et que le courant moyen reste nul.

2° Passons au raisonnement de votre lettre.<sup>6</sup>

A l'extérieur de l'écran, il y a un potentiel magnétique (accordé). Si tout est de révolution, le champ magnétique est nul (accordé) ; il en est encore de même si tout n'est pas de révolution ; cela je ne l'accorde pas. Mais alors, si j'ai un écran de révolution, et qu'une masse électrique se déplace suivant l'axe, dans ce cas le mouvement de cette masse est rectiligne et le phénomène ne présente plus la périodicité qui est essentielle à mon raisonnement.

3° Théorie des sheets et des écrans électromagnétiques. Si un écran est parfaitement conducteur, de l'autre côté la force électrique est nulle. Donc  $\frac{d\alpha}{dt} = 0$ , donc le champ magnétique est constant ; mais cela ne prouve pas qu'il est nul.<sup>7</sup> Mais s'il est nul au début, il devra être nul tout le temps. Oui, mais l'écran n'est pas parfaitement conducteur.<sup>8</sup> Nous partons du repos et nous tendons vers un état de régime périodique. Plus la conductibilité sera parfaite, plus tard sera atteint l'état final où le champ magnétique est constant, mais pas nul ; mais il finira toujours par l'être. Et alors ma conclusion, c'est que les expériences de Crémieu paraissent inexplicables avec les idées anciennes. Devons-nous adopter son explication, à laquelle il n'a pas d'ailleurs donné une forme définitive. Cela c'est une autre

affaire, et je me réserve.

**AL 8p. Collection particulière, Paris. Extraite dans Poincaré et Potier (1902, 84–87) et Poincaré (1916–1956, X, 423–427).**

<sup>1</sup>Victor Crémieu (§ 17).

<sup>2</sup>Voir Hertz (1890a), ou la réédition (1892); la citation est tronquée, et la notation modifiée. Hertz y explique bien que le champ magnétique induit est dû au courant de conduction (premier terme), au courant dit “ouvert” dû à la variation du champ électrique  $\mathfrak{X}$  en fonction du temps (deuxième terme) et au courant dit de “convection” dû au mouvement du conducteur porteur de charges et qui est proportionnel à la vitesse  $\alpha$  dudit conducteur (troisième terme).

<sup>3</sup>Poincaré souligne ici que selon Hertz les trois termes de l’équation contribuent à l’effet magnétique, ce que les expériences de Crémieu semblent réfuter.

<sup>4</sup>Il s’agit vraisemblablement du raisonnement contenu dans la lettre envoyée par Potier à la rédaction de l’*Éclairage électrique* le 25.11.1900, et publiée le 01.12 (1900). Selon cette lettre,

... lorsque la vitesse de déplacement est faible par rapport à la vitesse de la lumière, la force magnétique en un point est donnée par une formule analogue à celle de Laplace,  
 $mv \sin \alpha / r^2$ .

Dans la formule de Potier,  $r$  est le vecteur rayon entre le point considéré et le corps chargé d’une quantité d’électricité  $m$  qui se déplace avec vitesse  $v$ , et  $\alpha$  représente l’angle entre  $v$  et  $r$ .

<sup>5</sup>Crémieu (1900b). Henry Rowland (1877) a découvert l’effet contesté par Crémieu à Berlin en 1876.

<sup>6</sup>Voir la lettre de Potier (§ 48.6).

<sup>7</sup> $\alpha, \beta, \gamma$  sont les composantes du champ magnétique.

<sup>8</sup>Ce détail est négligé par Potier (1900).

## 48.8 Potier à Poincaré

[Ca. 04.12.1900–13.01.1901]

Mon cher Confrère,

Je vous remercie de votre intéressante lettre.<sup>1</sup> Vous voulez une couche de passage entre le diélectrique (vernis) et le vide; je n’y vois pas d’inconvénient (puisque par hypothèse  $\rho = 0$ , dans cette couche). Avec vos hypothèses, on peut même intégrer complètement, si l’on suppose connus les potentiels  $\int \frac{\rho \xi}{r} d\tau$ ,  $\int \frac{\rho \eta}{r} d\tau$ , dans le cas du mouvement permanent ( $\frac{d\rho}{dt} = \frac{df}{dt} = \frac{dg}{dt} = 0$ ), mais pour moi, la difficulté n’est pas supprimée pour cela.

C’est sur l’autre couche, où  $\rho$  et  $\xi$  existent que je voudrais appeler votre attention; on admettait, et je crois me rappeler avoir vu cette doctrine dans votre Ouvrage, une séparation brusque du *conducteur* et du diélectrique, l’électricité occupant une couche très mince dans le métal; on professe aussi que quand la distribution change, c’est par des courants dans cette couche même, si les changements ne durent pas trop longtemps, mais ces courants pénètrent dans le métal, petit à petit.

La manière d’être de cette couche me paraît le point capital. En effet, toute intégration dans le diélectrique fera apparaître des fonctions arbitraires, l’une potentiel électrostatique, l’autre potentiel vecteur correspondant à des masses ou courants hors du diélectrique, c’est-à-dire dans le corps en mouvement, et qui ne peuvent être déterminées que si l’on intègre également dans le conducteur, et qu’on exprime les conditions aux limites.

Par exemple, la condition  $\sum \frac{du}{dx} = 0$ , détermine la valeur de la composante normale du courant à l'intérieur du métal ; c'est donc un courant de *conduction* qui accompagne forcément le mouvement.

Ces courants de conduction, quand le régime permanent est établi, détruisent complètement (dans un bon conducteur) les courants  $\rho\xi$ ,  $\rho\eta$  pour le cas d'un solide de révolution tournant autour de son axe, de sorte que le champ magnétique est nul à l'extérieur.

Il n'en serait plus ainsi si le disque était un diélectrique chargé d'électricité vraie, et il est intéressant de noter en passant que Maxwell indique, comme projet d'expérience, l'emploi d'un disque isolant (§770) ; et que les expérimentateurs ont cru devoir diviser leurs disques.<sup>2</sup>

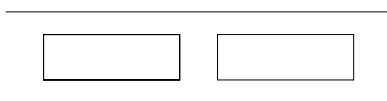
Voilà les raisons qui m'empêchent d'adhérer complètement à votre doctrine ; j'admets les équations de Hertz, lorsque le milieu est l'air, mais il s'agit de les appliquer en tenant compte des conditions physiques du phénomène, c'est cette conductibilité qui fait pour moi la différence entre l'induction dite unipolaire magnétique, et le cas du disque chargé. Votre bien dévoué,

A. Potier

P.S. 1° Formez, pour le diélectrique ambiant, le vecteur<sup>d</sup>

$$u = \frac{df}{dt}, \quad v = \frac{dg}{dt}, \quad w = \frac{dh}{dt};$$

c'est le courant total pour cette région de l'espace ; 2° fermez ces courants par des courants *totaux*, répartis dans une très petite épaisseur de la matière conductrice mobile. Calculez  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , résultant de l'ensemble ainsi constitué.



On voit que seul, l'espace balayé par le conducteur intervient par des courants toujours dans le même sens.<sup>e</sup> Mais la présence d'un conducteur fixe voisin (écran) a une action, parce qu'elle modifie les trajectoires, en attirant en dehors de l'espace balayé, les courants  $u$ ,  $v$ ,  $w$ .

Dans le cas d'un solide de révolution,  $u$ ,  $v$ ,  $w$  sont nuls partout.

On est ainsi dispensé, je l'espère, d'épiloguer sur les variations de  $C$ , de  $K$ , et de la conductibilité dans cette couche, et l'on reste dans les termes de la théorie de Maxwell ; ce qui n'empêchera pas de faire intervenir, si l'on veut, les électrons, ou ions à la mode.

**PTrL. Poincaré et Potier (1902, 87–88), Poincaré (1916–1956, X, 427–429).**

<sup>1</sup> Voir la lettre de Poincaré (§48.7).

<sup>2</sup> Maxwell (1891, II, 415).

<sup>d</sup> Nous corrigeons une coquille dans (Poincaré et Potier, 1902, 88, ligne 18), en mettant  $v$  à la place de  $y$ .

<sup>e</sup> La figure reprend celle de *l'Éclairage électrique* 31.

## 48.9 Potier à Poincaré

[Ca. 04.12.1900–13.01.1901]<sup>f</sup>

Mon cher confrère,  
J'admets

$$u = \frac{df}{dt} + \rho\xi + \left(\frac{\partial Y}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial y}\right) = \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

dans un diélectrique j'admets

$$u = p$$

dans un métal.

J'y ajoute l'équation de liaison

$$(\ell u + mv + nw) = \ell \frac{\partial f}{\partial t} + m \frac{\partial g}{\partial t} + n \frac{\partial h}{\partial t}$$

sur la surface de séparation.

Ceci mène par le disque à  $u = v = w = 0$  dans le disque, les curls de  $X Y Z$  nuls partout dans le diélectrique [\*] avec  $\rho\xi = 0$   $\frac{df}{dt} = 0$  et  $\frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0$  enfin les valeurs de  $\alpha \beta \gamma$  sont

$$\alpha + 4\pi X = 0 \quad \beta + 4\pi Y = 0 \quad \gamma + 4\pi Z = 0$$

dans tous les diélectriques fixes ou mobiles, et  $\alpha = \beta = \gamma = 0$  dans le disque, je crois, excusez moi de ne pas refaire les calculs pour le chapelet et l'influence de la paroi qui agit indirectement en changeant les valeurs de  $f, g, h$  dans l'espace balayé par le chapelet, où ils sont périodiques, mais avec

$$\frac{\partial f}{\partial t} \frac{\partial g}{\partial t} \frac{\partial h}{\partial t}$$

toujours de même signe, à cause des discontinuités ; mais je viens de passer par deux jours de crise qui m'ont épuisé.<sup>1</sup>

Votre bien dévoué,

A. Potier

[\*] sauf la couche de passage

**ALS 2p. Collection particulière, Paris. Transcrite dans Poincaré et Potier (1902, 89) et Poincaré (1916–1956, X, 430–431).**

<sup>1</sup>Potier était très malade depuis 1892. Poincaré en parle dans sa notice (1905b) : “Douze ans, il fut étendu sur un lit ou sur un fauteuil, privé de l'usage de ses membres et souvent torturé par la douleur.”.

<sup>f</sup>Le manuscrit comporte des annotations en crayon de main inconnue, avec des instructions de mise en page.

## 48.10 Poincaré à Potier

[Ca. 01.01–13.01.1901]

Mon cher Confrère,

Voici les réflexions que m'inspirent vos deux exemples :

1<sup>er</sup> Exemple.

On n'a  $\xi = -\omega y$ ,  $\eta = \omega x$  que dans le disque, dans l'atmosphère on a  $\xi = \eta = 0$ , et il y a une couche de passage où  $\xi$  et  $\eta$  varient très rapidement. Il faut tenir compte de cela.

Pour faciliter le calcul, je m'en vais encore simplifier votre exemple ; je suppose qu'au lieu d'une rotation, on ait une translation, chaque petit cylindre parallèle à l'axe des  $x$  subit une translation dans le sens de ses génératrices. Seulement la vitesse de translation n'est pas la même pour tous les cylindres.

En d'autres termes on a :

$\eta = \zeta = 0$ ,  $\xi = f(y, z)$  indépendante de  $x$  et de  $t$ .

Je suppose que tout est permanent dans le temps et par rapport à  $x$ .

Toutes les dérivées  $\frac{d}{dt}$  et  $\frac{d}{dx}$  sont nulles. Le champ doit alors être perpendiculaire à l'axe des  $x$ , c'est à dire que

$$f = 0, \quad \varrho = \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz};$$

Les courants se réduisent à  $[f]$ ,  $[g]$ ,  $[h]$  et on trouve :

$$[g] = [h] = 0;$$

$$[f] = \frac{d(g\xi)}{dy} + \frac{d(h\xi)}{dz} - \xi \left( \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} \right) = g \frac{d\xi}{dy} + h \frac{d\xi}{dz}.$$

Supposons maintenant que tout soit de révolution autour de l'axe des  $x$  ; on a :

$$y = r \cos \varphi,$$

$$z = r \sin \varphi$$

$$\frac{d\xi}{dy} = \frac{d\xi}{dr} \cos \varphi, \quad \frac{d\xi}{dz} = \frac{d\xi}{dr} \sin \varphi$$

$$\alpha = 0; \quad \beta = -M \sin \varphi, \quad \gamma = M \cos \varphi$$

$M$  champ magnétique.

$$f = 0; \quad g = E \cos \varphi, \quad h = E \sin \varphi$$

$E$  champ électrique :

$$[f] = \frac{d\xi}{dr}(g \cos \varphi + h \sin \varphi) = E \frac{d\xi}{dr}$$

$$2\pi Mr = 4\pi \int 2\pi r dr [f]$$

$$Mr = 4\pi \int_0^r r [f] dr = 4\pi \int r d\xi E$$

$$\frac{d(Mr)}{dr} = 4\pi r E \frac{d\xi}{dr}.$$

D'autre part :

$$\frac{d(Er)}{dr} = r\rho.$$

Telles sont les éq. qui définissent les deux champs électrique et magnétique.

En intégrant par parties, je trouve :

$$\int_0^r Er d\xi = [Er\xi]_0^r - \int_0^r \xi \frac{d(Er)}{dr} dr.$$

Si  $r$  est assez grand pour que l'on se trouve dans l'espace qui est en repos, l'expression  $Er\xi$  s'annule aux deux limites, de sorte qu'il reste :

$$Mr = -4\pi \int \xi \frac{d(Er)}{dr} dr = -4\pi \int r\rho\xi dr,$$

et nous retombons sur le courant de convection pur.

Mais il est temps d'aborder le cas de la rotation :

Posons

$$x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta$$

et soit  $\omega$  la vitesse angulaire qui dépendra de  $r$  et de  $z$  mais pas de  $\theta$  ni de  $t$ .

Nous poserons :

$$f = E \cos \theta, \quad g = E \sin \theta.$$

$E$  compos. du champ électrq. suivant le rayon vecteur  $r$  l'autre compos. est  $h$ .

De même :

$$\alpha = M \cos \theta, \quad \beta = M \sin \theta.$$

$M$  compos. du champ magnétq. suivant  $r$  ; l'autre compos. est  $\gamma$ .

On a ensuite :

$$\xi = -r\omega \sin \theta, \quad \eta = r\omega \cos \theta, \quad \zeta = 0.$$

Les expressions qui entrent dans  $[F]$ , etc. sont :

$$h\eta - g\xi = hr\omega \cos \theta = X$$

$$f\xi - h\xi = hr\omega \sin \theta = Y$$

$$g\xi - f\eta = -Er\omega = Z.$$

Je trouve ensuite :

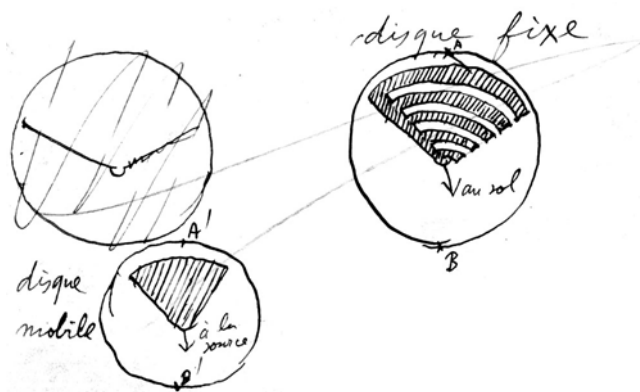
$$\int (Xdx + Ydy + Zdz) = \int hr\omega dr - Er\omega dz.$$

Or le 1<sup>er</sup> membre peut s'écrire :

$$\int (\ell A + mB + nC) d\Omega \quad (\text{Théorème de Stokes}).$$

Remarquons que dans toutes ces expériences on observe l'effet moyen sur une aiguille aimantée (3<sup>e</sup> communication) ou bien l'effet d'induction sur un circuit interrompu de temps en temps (1<sup>re</sup> communication).<sup>1</sup> Mais dans ce dernier cas, les interruptions se font à des intervalles de temps qui n'ont aucun rapport avec la période de la rotation, de sorte que cela revient encore au même ; l'effet moyen des courants de conduction qui peuvent régner dans la partie fixe demeure nul.

C'est pourquoi j'avais demandé à Crémieu au mois de juillet dernier de monter l'expérience suivante :



les parties dorées sont couvertes de hachures, elles sont soit au sol, soit à la source par leur *centre*. Lorsque le diamètre  $A'B'$  du disque mobile coïncide avec le diamètre  $AB$  du disque fixe, les parties dorées sont en regard et forment condensateur. Mais l'angle du secteur doré mobile est un peu plus petit que celui du secteur doré fixe. Le secteur doré mobile prend donc une charge +, et le secteur doré fixe prend une charge - mais seulement en face du secteur mobile. La charge + du 1<sup>er</sup> se transporte par convection, la charge - du 2<sup>d</sup> se transporte parallèlement par conduction.

Donc si le courant de conduction agit et que le courant de convection n'agisse pas il y aura un champ ; si les deux courants agissent, il n'y en aura pas.

Dans la position inverse, lorsque  $A'B'$  coïncidera avec  $BA$ , les deux secteurs n'étant pas en face l'un de l'autre ne prendront qu'une charge insignifiante, et il n'y aura pas de champ.

Prenons la disposition de la 1<sup>re</sup> communication, et supposons qu'on interrompe le circuit du galvanomètre dans la 1<sup>re</sup> position par exemple, et qu'on le rétablisse dans la 2<sup>de</sup>. Alors

il y aura un effet si un seul des deux courants agit (idées de M. Crémieu) et il n'y en aura pas s'ils agissent tous deux (idées anciennes).

Seulement pour cela il faut que l'interruption soit synchrone de la rotation du disque. La construction de l'interrupteur synchrone pourra présenter des difficultés, mais M. Crémieu espère en triompher.

Seulement la 1<sup>re</sup> chose à faire était de reprendre et de varier l'expérience de Rowland proprement dite (3<sup>e</sup> communication). C'est ce qu'il fait dans ce moment.

Pardonnez moi la longueur de ma lettre et croyez à mes sentiments les plus dévoués,  
Poincaré

**ALS 7p. Collection particulière, Paris. Transcrite dans Poincaré et Potier (1902, 90–92) et Poincaré (1916–1956, X, 432–435).**

<sup>1</sup>1<sup>re</sup> communication : Crémieu (1900a). 3<sup>e</sup> communication : Crémieu (1900b).

## 48.11 Potier à Poincaré

13 Janv 1901

Mon cher Confrère,

Je crois être arrivé à intégrer les éq. de Hertz dans le cas qui nous occupe ; je suppose la couche diélectrique—vide de passage inf<sup>t</sup> mince, et la surface même du diélectrique équipotentielle.

Si  $D_0$  est le déplacement d'un point de cette surface,  $V_0$  sa vitesse (prise dans le diélectrique lié au conducteur)  $\alpha$  l'angle de ces deux vecteurs : je trouve

1° Les courants de déplacement de tout le champ sont équivalents à des courants normaux à la couche de passage, d'intensité  $D_0 V_0 \cos \alpha$  par unité de surface

2° Les courants dans la couche de passage sont superficiels, dirigés suivant la projection de la vitesse sur la surface d'intensité  $D_0 V_0 \sin \alpha$ .

L'ensemble équivaut à des courants  $D_0 V_0$  dirigés suivant la vitesse, c'est à dire que l'on a<sup>1</sup>

$$\alpha = \frac{d}{dz} \int \frac{D_0 \eta_0}{r} d\omega - \frac{d}{dy} \int \frac{D_0 \zeta_0}{r} d\omega$$

et l'on peut vérifier

1° qu'en un point de l'espace

$$\frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} = \frac{d}{dy} \int D_0 \left( \xi \frac{d\frac{1}{r}}{dx'} + \eta \frac{d\frac{1}{r}}{dy'} + \zeta \frac{d\frac{1}{r}}{dz'} \right) d\omega = \frac{d}{dy} \int D_0 \frac{d\frac{1}{r}}{dt} d\omega = 4\pi \frac{dg}{dt}$$

à cause de

$$4\pi g = \frac{d}{dy} \int D_0 \frac{1}{r} d\omega.$$



2° pour un petit contour  $\oint \alpha dx + \beta dy + \gamma dz$  est



$$4\pi \begin{vmatrix} dx_1 & dy_1 & dz_1 \\ \xi & \eta & \zeta \\ f & g & h \end{vmatrix}$$

si  $dx_1 dy_1 dz_1$  est l'élément pris sur la surface de séparation, soit  $D_0 V_0 \sin \alpha ds$  pour un élément normal à la vitesse et zéro pour un élément suivant la projection de la vitesse.<sup>2</sup>



e D

On retombe donc sur vos conclusions, peut-être un peu précisées ; je ne m'attendais pas au rôle de l'épaisseur du diélectrique ; dans le cas d'une sphère tournant autour de son axe, à charge égale les  $\int D_0 d\omega$  restent les mêmes mais  $\xi \eta \zeta$  croissent comme le rayon. Votre manière de voir est encore corroborée par les considérations suivantes. Quand un aimant  $AB$  tourne autour de son axe, *on admet* qu'il produit un champ électrostatique ; donc il attirera un disque chargé  $CD$ . Réciproquement si on fait tourner  $CD$  en sens contraire, il devra attirer  $AB$ , c'est à dire produire un champ magnétique.

Seulement où en sont les vérifications expérimentales ?

Ce pauvre Crémieu doit être désolé, M<sup>r</sup> Hamy de l'Observatoire se porte candidat contre lui à la succession de M<sup>r</sup> Boudréaux.<sup>g3</sup>

Votre bien dévoué,

A. Potier

**ALS 2p. Collection particulière, Paris. Extraite dans Poincaré et Potier (1902, 92–93), et rééditée dans Poincaré (1916–1956, X, 435–437).**

<sup>1</sup>La formule, issue de l'équation de Maxwell, précise la variation temporelle de l'induction magnétique en fonction du rotationnel du champ électrique. Les composantes du champ magnétique se désignent par  $\alpha, \beta, \gamma$ , celles du déplacement électrique par  $f, g, h$ . Les composantes de la vitesse  $V_0$  sont  $\xi_0, \eta_0, \zeta_0$ , alors que  $d\omega$  est un élément de surface.

<sup>2</sup>La figure de Potier montre l'élément de volume à la transition air-diélectrique ; elle ne paraît pas dans (Poincaré et Potier, 1902).

<sup>3</sup>Victor Crémieu (§ 17) soutient sa thèse le 30.05.1901 ; voir le rapport (§ 62.6) de Poincaré. E. Boudréaux fut conservateur des collections de physique à l'École polytechnique (*Bulletin des séances la société française de physique* 1892, 316). Maurice Hamy (1861–1936) est astronome non-titulaire à l'observatoire de Paris ; il devient titulaire en 1904.

<sup>g</sup>Cette remarque a été barrée, sans doute en vue de la publication de la lettre.

## 48.12 Potier à Poincaré

[Ca. 03–06.1901]

Que vous êtes heureux de pouvoir voir des expériences, et que vous êtes aimable de me tenir au courant de ce qu'a fait M<sup>r</sup> Crémieu. J'espère qu'il n'aura oublié aucun des retournements d'usage, il est trop fin pour cela. J'aurais voulu et l'ai dit à M<sup>r</sup> Bouty qu'il fit un essai avec un disque en ébonite, sans dorure, électrisé par frottement.<sup>1</sup>

Encore une fois merci.

Votre bien dévoué,

A. Potier

J'espère qu'on va réunir promptement les divers mémoires d'Hermite; il y en a et des plus importants qu'on a bien de la peine à avoir quand on n'a pas *Borchardt*, les *Comptes Rendus* et *Liouville* sous la main.<sup>2</sup>

### ALS 1p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Victor Crémieu (§ 17) fait ses premières recherches dans le laboratoire de son directeur de thèse, Gabriel Lippmann. Edmond Bouty (1846–1922) occupe la chaire de physique théorique et expérimentale à la Sorbonne, et dirige le laboratoire d'enseignement de physique, dans lequel Crémieu et Harold Pender (§45) feront des expériences côte à côte au printemps 1903, afin de trouver la source de divergence de leurs mesures de l'effet Rowland.

<sup>2</sup>Charles Hermite est mort le 14.01.1901. Les *Œuvres* d'Hermite seront édités par Émile Picard; voir (Hermite, 1905). Les termes soulignés sont les noms familiers des revues académiques; il s'agit du *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, dirigé par Carl Borchardt (1817–1880), les *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences*, et le *Journal de mathématiques pures et appliquées*, fondé par Joseph Liouville (1809–1882).

## 48.13 Potier à Poincaré

[Ca. 08.1901]

Mon cher confrère,

Je reçois à l'instant la seconde édition d'*Électricité et Optique* que vous avez bien voulu m'envoyer; en la feuilletant, j'y vois des additions considérables, et une mise à jour complète, certainement un sujet de méditation quand je serai débarrassé de mon cours, je vous en remercie.<sup>1</sup>

J'espère que j'arriverai à penser comme vous au sujet des expériences de M. Crémieu;<sup>2</sup> je voudrais insister sur une idée que je n'ai probablement pas développée assez clairement, sur le rôle du courant de convection prop. dit, c'est à dire des termes que vous appelez  $[f][g][h]$ , ces termes n'existent que dans la couche de passage entre le métal et l'air, de sorte que quand le courant n'est pas parallèle à cette couche mais la coupe, sa longueur, ou si vous aimez mieux le produit  $\frac{ud\tau}{r}$  est insignifiant, relativement au reste du courant fermé dont l'élément de surface est l'origine, dans ce sens, on peut dire que la convection ne produit pas de champ, puisque la valeur de ce champ est déterminée par le courant de déplacement dans le diélectrique et le ou les courants de conduction; mais ceux-ci

accompagnent nécessairement la convection, avec un peu de bonne foi et de précision on pourrait l'entendre.<sup>3</sup>

Dans votre livre, vous donnez pour le courant total, (p. 380 et 381), lorsque  $f = g = 0$ ,  $\eta = \zeta = 0$ ,  $u = h \frac{d\xi}{dz} = [f]$  c'est loin de  $\varrho\xi$ , qu'on devrait avoir pour un conducteur *plan* se mouvant dans *son plan*.

Je continue donc à penser que dans les anciennes idées, ces mots, une charge mobile équivaut à un élément de courant, ne s'appliquent qu'à un corps petit balayant l'espace, et qu'il y a des tempéraments minutieux à apporter à cette formule. Ceci en dehors de la complication introduite par les écrans.

Excusez le décousu de ces notes ; je n'ai pas réuni par écrit mes idées à ce sujet depuis longtemps, je n'ai pas eu à professer là dessus de sorte que leur coordination est loin d'être parfaite.

Votre bien dévoué,

A. Potier

Je suppose que c'est de propos délibéré que vous n'avez fait allusion à aucune des extraordinaires expériences de M. Turpain.<sup>4</sup>

Je vous signale une faute d'impression  $3 \cdot 10^9$  au lieu de  $3 \cdot 10^5$  p. 530–532.<sup>5</sup>

#### ALS 2p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Poincaré (1901a).

<sup>2</sup>Victor Crémieu (§ 17) cherche sans succès à mettre en évidence l'effet magnétique des courants de convection (l'effet Rowland). A la différence de Potier, Poincaré croit que les expériences de Crémieu aurait dû montrer l'effet, et il encourage Potier à conseiller Crémieu dans ses recherches (§17.6).

<sup>3</sup> $\xi\eta\zeta$  sont les composantes de la vitesse de la matière ;  $p, q, r$  sont les composantes du courant de conduction,  $f, g, h$  sont les composantes du déplacement électrique ;  $[f], [g], [h]$  sont les composantes des courants de convection et  $u, v, w$  les composantes du courant total.

<sup>4</sup>A partir des expériences menées dans le cadre de sa thèse (1899a), Albert Turpain trouve 1899b que la théorie de Helmholtz rend mieux compte de la propagation des oscillations électriques dans les diélectriques que celle de Maxwell. Ses résultats sont contestés par Camille Gutton (§29), en particulier dans une note (1901) présentée par Poincaré à l'Académie des sciences le 04.03.1901.

<sup>5</sup>Poincaré (1901a). Il s'agit d'évaluer la grandeur de la différence entre le "temps vrai" d'une horloge au repos par rapport à l'éther, et le "temps local" d'un système en mouvement par rapport à l'éther :

Disons deux mots sur la nouvelle variable  $t'$  : c'est ce que Lorentz appelle *le temps local*. En un point donné  $t$  et  $t'$  ne différeront que par une constante,  $t'$  représentera donc toujours le temps mais l'origine des temps étant différente aux différents points : cela justifie sa dénomination.

Quelle est l'ordre de grandeur de ce temps local ? Considérons à cet effet deux horloges situées à 1 kilomètre de distance l'une de l'autre et entraînées dans le mouvement de la terre. D'après la définition du temps local de Lorentz il y aurait une différence dans les indications de ces horloges de  $1/3 \times 10^9$  secondes.

Selon la théorie de Lorentz (1895), cette différence est égale à  $vx/c^2$ . La valeur numérique donnée par Potier indique qu'il prend la vitesse de la lumière pour la vitesse du système par rapport à l'éther. Poincaré semble se servir de la vitesse orbitale de la Terre, ce qui suppose que le Soleil est au repos par rapport à l'éther. La synchronisation optique des horloges est abordée par Poincaré dans (1900a) ; il définit le temps local de telle façon que l'"erreur" qui résulte d'une synchronisation optique des horloges (qui ignore le mouvement de la Terre) est égale à la différence entre le temps vrai et le temps local, c'est-à-dire,  $t - t' = vx/c^2$ . Sur cette définition, voir Darrigol (1995).

## 48.14 Poincaré à Potier

[Ca. 09–10.1901]

Mon cher Confrère,

J'avais cru comprendre votre pensée, mais je m'aperçois que je ne l'ai pas encore saisie. J'avais cru que vous acceptiez les équations de Hertz ; maintenant je n'en suis plus sûr, et je ne sais pas quelles sont celles que vous proposez de mettre à la place.<sup>1</sup>

Je ne comprends pas non plus si ces courants de conduction (qui, d'après vous, compenseraient les courants de convection) siègent dans le disque mobile lui-même, ou dans l'écran fixe.

Dans ce dernier cas, je vous demanderais si vous n'admettez plus ce que je vous avais dit dans une de mes premières lettres, au sujet de l'effet moyen nul des courants de conduction de l'écran fixe quand le phénomène est périodique.

Dans la couche de passage vernis-air, il est vrai que  $\varrho$  est nul, mais cela ne fait rien. Il y a dans la couche de passage métal-vernis, un courant de convection de Rowland et un « courant de Röntgen ».<sup>2</sup> Ces deux courants se compensent

$$[f] = [g] = [h] = 0$$

C'est ce que vous avez montré dans votre avant-dernière lettre.<sup>3</sup>

Dans la couche de passage vernis-air, il ne peut y avoir de courant de Rowland, puisque  $\varrho = 0$ , mais il y a un courant de Röntgen qui compense le courant de Röntgen de l'autre couche de passage.

A vous, de tout cœur,

Poincaré

**PTrL. Poincaré et Potier (1902, 88–89), Poincaré (1916–1956, X, 429–430).**

<sup>1</sup>Potier proposera les équations “de Maxwell, ou de Hertz si vous préférez” (§48.15).

<sup>2</sup>Röntgen a confirmé l'existence de l'action électrodynamique d'un disque diélectrique non électrifé tournant dans un champ électrique (1885). L'effet, prévu par les théories de Maxwell et de Helmholtz, trouva également une explication dans la théorie électrodynamique des corps en mouvement de Hertz ; voir Jungnickel et McCormach (1986, II, 106), Darrigol (2000a, 256).

<sup>3</sup>Voir la lettre de Potier (§48.13).

## 48.15 Potier à Poincaré

[Ca. 08–11.1901]

Mon cher confrère,

Vous me demandez des équations ; celles de Maxwell, ou de Hertz si vous préférez me semblent bien suffisantes. Je traite ci-joint 2 cas simples ; dans l'un seulement on a besoin des équations relatives au milieu en mouvement. Ou bien j'interprète correctement les principes et alors il résultera que les expériences de Crémieu ne sont pas en contradiction avec l'idée qu'une masse en mouvement crée un champ magnétique ; ou bien je suis victime d'une illusion, qui apparaîtra plus facilement dans les cas simples ci-joints ;

alors je n'aurai qu'à m'incliner ; sinon *tout en étant absolument d'accord* avec vous sur l'absence d'effet magnétique permanent des courants de conduction de l'enveloppe, il me sera facile de montrer que l'effet sur l'aiguille tend vers zéro à mesure 1° que les parois se rapprochent du disque 2° que les segments chargés sont plus voisins ; mais ce ne serait que de la divagation, si vous n'admettez pas mes bases.

Votre bien dévoué,

A. Potier

*Disque continu* (vernisé puisque vous le préférez) ; s'il y a courant ce ne peut être que sur le disque. Si celui-ci est dans le plan  $xy$ ,

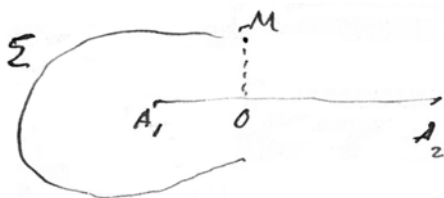
$$\xi = -\omega y, \eta = \omega x, \zeta = 0, f = g = 0 \text{ et } h = f(z),$$

$\varrho = \frac{\partial h}{\partial z}$  ; les seuls termes utiles sont  $[f], [g], [h]$ , p. 380 et l'on trouve

$$[f] = [g] = [h] = 0;$$

donc pas de force magnétique.<sup>1</sup>

*Action des parois.* 1) Une masse  $A$ , part de  $A_1$ , va en  $A_2$  et s'y arrête.



Soit  $\beta$  la force magnétique en  $M$  et  $\int \beta dt$  l'impulsion totale.

$2\pi \cdot OM \cdot \int \beta dt = 4\pi \times$  la variation du déplacement à travers une surface  $\Sigma$  limitée au cercle de rayon  $OM$ , soit,

$$\frac{m}{OM} \left( \frac{A_1 O}{A_1 M} + \frac{A_2 O}{A_2 M} \right).$$

Supposons un tuyau conducteur entourant  $A_1 A_2$  et fermé aux deux bouts qu'il soit ou non mis à la terre, il faut considérer outre le déplacement ci-dessus, les déplacements dus aux charges négatives de la paroi interne du tuyau qui se trouvent concentrées près de  $A_1$  ou près de  $A_2$  et détruisent d'autant plus complètement l'effet de  $A_1$  et de  $A_2$ . 1° que  $A_1$  et  $A_2$  sont plus loin, 2° que le tuyau est plus étroit.

**ALS 2p. Collection particulière, Paris. Transcrite dans Poincaré et Potier (1902, 89–90), ré-éditée dans Poincaré (1916–1956, X, 431–432).**

<sup>1</sup>Poincaré (1901a, 380–381). Poincaré fit don de ce volume à Potier (§48.13).

## 48.16 Potier à Poincaré

[Ca. 12.1901]

Mon cher confrère,

Je parlais de l'expérience non réalisée de Blondlot (page 849), où non seulement l'air, mais le circuit  $ABCD$  relié aux armatures se meut dans le champ uniforme.<sup>1</sup>

Vous me dites le flux s'est augmenté du nombre des lignes de force qui traversent  $AD$ ,  $A'D'$ . Oui ! Mais il a diminué du même nombre puisque  $BC$  est venu en  $B'C'$  ; donc l'ancienne théorie ne donne rien, et c'est M. Blondlot qui ayant observé que le déplacement de l'air seul ne produit rien, conclut néanmoins que le déplacement simultané du fil  $ABCD$  et des armatures.<sup>2</sup>

Je crois qu'on n'aurait rien en déplaçant tout, mais qu'on change en faisant glisser  $BC$  seul sur les fils  $AD$ ,  $DC$ .

Je vous remercie de votre réponse. Vous aurait-on décerné de nouveaux honneurs à Londres ?<sup>3</sup>

Votre bien dévoué,

A. Potier

#### ALS 1p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Blondlot (1901a), note présentée le 25.11.1901. Voir également les lettres de Blondlot (§9.8) et (§ 9.9).

<sup>2</sup>Il faut lire sans doute "conclut néanmoins au déplacement simultané...". Blondlot (1901a) conclut que son résultat met en cause le principe d'action et de réaction, mais n'y voit "pas plus que [Poincaré]" une raison de renoncer à l'avance à une théorie féconde.

<sup>3</sup>La *Royal Society* de Londres accueille Poincaré comme membre étranger en 1894 (voir §56.10), et lui décerne la première médaille Sylvestre le 30.11.1901.

## 48.17 Potier à Poincaré

5 Décembre [1902]

Mon cher confrère,

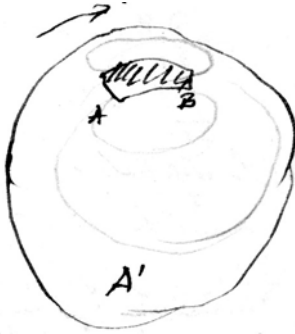
Je vous remercie bien de la note que vous m'avez envoyée ; elle ne me paraît pourtant pas résoudre complètement la question puisque vous ne vous occupez que des courants de convection et de conduction, et que vous laissez de côté les courants de déplacement ; dans l'exemple que j'avais choisi, c'est parce que je crois qu'ils se ferment à l'intérieur de l'enceinte que je crois à une force magnétique nulle.<sup>1</sup>

Vous me dites que vous admettez bien que la distribution électrique à l'état de mouvement est semblablement la même qu'au repos, mais non la force. Or j'ai étudié le champ d'un *point* chargé, et je trouve que si la vitesse  $v$  est parallèle à l'axe des  $x$ , que l'on pose  $x - vt = x'$ , les forces sont<sup>2</sup>

$$X = \left(1 - \frac{v^2}{a^2}\right) \frac{\partial F}{\partial x'} \quad Y = \frac{\partial F}{\partial y'} \quad Z = \frac{\partial F}{\partial z'} \quad (48.1)$$

$a$  = vitesse de la lumière, et  $F$  une fonction qui ne diffère de  $1/r$  que par des termes en  $(v/a)^2$ .

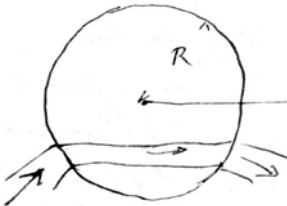
Vous attachez avec raison certainement une grande importance à la périodicité dans les expériences de M. Crémieu ; mais il me semble que si l'on fait défiler dans un tube un chapelet de masses chargées on pourra réaliser quelque chose de périodique et accessible au calcul.



Je crois que si  $AB$  est la zone influencée au maximum par le point mobile la composante du courant de conduction dans l'écran est nulle en  $AB$ , et au point diamétralement opposé. Pour les composantes tangentielles, elles sont difficiles à tracer car tous les courants doivent venir se fermer sur le point chargé mobile de sorte que leur intensité ne dépend pas seulement de la longueur de leur trajet dans le métal.

Je crois donc encore qu'un point chargé mobile entraîne avec lui un champ électromagnétique, que si plusieurs points chargés se succèdent rapidement, le champ ainsi créé périodiquement est pseudoconstant; mais je ne vois pas la preuve dans la lettre que vous avez bien voulu m'écrire qu'un écran entourant les points mobiles sera sans action sur l'effet magnétique extérieur, malgré la déformation qu'il provoque dans les lignes de courant de déplacement.

Permettez moi de parler à un autre ordre de considération : prenons non un point, mais une sphère chargée d'une masse  $m$ ; avec l'hypothèse faite (est-ce à tort) sur la distribution de la force, on a<sup>h</sup>



$$\begin{aligned}\frac{\partial X}{\partial t} &= -mv \left( \frac{1}{r^3} - \frac{3x^2}{r^5} \right) \\ \frac{\partial Y}{\partial t} &= +3mv \frac{xy}{r^5} \\ \frac{\partial Z}{\partial t} &= +3mv \frac{xz}{r^5}\end{aligned}$$

et pour un point de la sphère de rayon  $R$

$$\frac{x}{R} \frac{\partial X}{\partial t} + \frac{y}{R} \frac{\partial Y}{\partial t} + \frac{z}{R} \frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{2mv}{R^3} \left( \frac{x}{R} \right)$$

pour la composante normale du courant de déplacement; donc si suivant les idées de Maxwell, les courants totaux circulent dans des tubes fermés, il doit y avoir *dans la sphère* un courant parallèle à l'axe des  $x$  de densité uniforme  $u = \frac{2}{4\pi} \frac{mv}{R^3}$ , ou d'intensité totale  $\frac{2\pi}{4\pi} \cdot m \cdot \frac{v}{R} = m \frac{v}{2R}$ . Je n'ai donc pas besoin d'invoquer une action spéciale (le 3<sup>e</sup> terme de Hertz) mais simplement de tenir compte de la condition de Maxwell  $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$ . L'action magnétique de ce système sera toujours donnée par la formule  $mv \frac{\sin \alpha}{r^2}$  (l'action d'un champ magnétique sur la sphère devient évidente).<sup>i</sup>

Mais il me semble qu'en poursuivant cet ordre d'idées on arrive à des résultats graves et intéressants. Si au lieu d'une sphère j'ai un disque ou un anneau tournant sur lui même

<sup>h</sup>Nous rajoutons la parenthèse droite de la formule.

<sup>i</sup>La remarque entre parenthèses paraît en marge.

$XYZ$  sont invariables, je n'ai pas de courant ni dans l'air ni dans le métal ; d'où une action *nulle* !

Il faudrait alors calculer autrement qu'on ne le fait l'influence d'une série de conducteurs, ce ne serait pas



la somme des effets dus à chacun d'eux, mais une fraction tendant vers zéro quand ils sont très rapprochés.

C'est à cet ordre d'idées que j'ai fait allusion à la fin de ma lettre dans l'*Éclairage*.<sup>3</sup> Cela n'empêche pas le champ magnétique d'une boule électrisée en mouvement, et cela me semble plus conforme au principe de l'action du milieu ; quand je pars de l'état de repos, je comprends une perturbation naissant et se propageant, et pouvant aboutir à la constitution d'un champ magnétique permanent, pour la petite boule.

Pour le disque je ne vois pas naître de perturbation ; je ne vois pas les  $XYZ$  changer. C'est cela le fond de ma pensée, et c'est pourquoi je ne crois pas que M. Crémieu ait démontré qu'une charge en mouvement ne produit pas de champ magnétique.<sup>4</sup> Mais comment tâter expérimentalement ces hypothèses ? C'est à mon tour de m'excuser de vous livrer des idées aussi peu assises ; mais ne vaut-il pas mieux agiter ces questions que de conclure trop hâtivement.

Votre bien dévoué,

A. Potier

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>La note de Poincaré n'a pas été retrouvée.

<sup>2</sup>Le cas considéré par Potier fut traité par Oliver Heaviside en 1888–1889. A ce propos, voir Yavetz (1995) et Darrigol (2000a, 201).

<sup>3</sup>Voir § 48.17, lettre publiée dans *Éclairage électrique* le 19.04.1902 (Poincaré et Potier, 1902).

<sup>4</sup>Potier ne fut pas le seul à exprimer ses doutes à Poincaré, Tullio Levi-Civita ne croyait pas non plus aux expériences de Crémieu (voir § 37.3).

## 48.18 Potier à Poincaré

2 Décembre 1904

Mon cher Confrère,

Je lis dans la *Revue Rose* que vous attribuez votre impuissance à saisir les variations de l'éclat des sulfures à ce que vous ne pouvez pas ne pas accommoder.<sup>1</sup> Mais vous ne précisez pas dans quel sens vous employez ce mot ; ordinairement on appelle accommodation un changement dans la courbure des faces du cristallin qui permet à l'œil de voir nettement les points situés à des distances différentes, et même on évalue numériquement cette puissance d'accommodation en prenant la différence des inverses des distances extrêmes entre lesquelles l'œil peut voir avec netteté ; c'est une faculté qui disparaît rapidement avec l'âge et je ne saurais trop vous féliciter de l'avoir conservée, mais, qu'on soit ou non resté jeune, une goutte d'atropine dans l'œil suffit à abolir cette faculté assez longtemps



pour que l'on puisse mesurer les courbures du cristallin devenues invariables. Or je ne peux pas voir de relation entre cette accommodation et la visibilité des écrans au sulfure. Au contraire je vois un lien très étroit entre tout ce que l'on raconte\* et la disposition anatomique bien connue de la rétine, en vertu de laquelle un objet est vu avec le maximum de netteté quand son image se projette sur la tache centrale en même temps qu'il paraît moins lumineux dans cette position que lorsque son image se projette en dehors de la tache. De sorte que, quand l'objet est peu éclairé, et qu'on veut se rendre compte exactement de sa forme, l'œil commence par le fixer et projeter, suivant son habitude, l'image sur la tache centrale : mais alors cette image perd son éclat, l'objet semble disparaître et l'œil se déplace de manière que l'image venant se produire à côté de la tache, le corps redevienne visible, mais sans netteté. Aussi l'exercice qui consiste à vouloir voir les détails d'un objet très peu éclairé est-il des plus fatigant.

Voilà pour moi le phénomène le plus gênant, et il faut une très grande habitude pour arriver à maintenir l'œil fixe dans ces conditions ; ajoutez à cela la suggestion et vous voyez que la question n'est pas simple.<sup>2</sup>

Serait-ce à ce dernier phénomène que vous auriez appliqué le mot d'accommodation ? Cela ne me semblerait pas conforme à votre précision habituelle.<sup>3</sup>

Votre bien dévoué,

A. Potier

\* « c'est comme un voile qui se déchire »

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Pour voir les variations d'éclat d'une étincelle dues aux rayons N, Blondlot a écrit à Poincaré, "Il importe de ne faire aucun effort d'accommodation, ni de fixation, de regarder d'un œil distrait et sans accommoder aucunement si on le peut, (comme les peintres impressionnistes), et même de tenir la tête dans un léger mouvement continu et irrégulier" (§ 9.21). Dans la *Revue rose*, Poincaré (1904b) soutient son ami Blondlot en affirmant sa "croyance aveugle" dans l'existence des rayons N.

<sup>2</sup> O. Lummer 1904 suggère que certains résultats de Blondlot viennent du "sommeil hypnotique" qui s'ensuit lorsqu'on fixe des yeux un petit objet lumineux. Le pouvoir de suggestion est une explication que H. Piéron (1907) mettra en avant dans son étude de l'épisode des rayons N.

<sup>3</sup> Voir la citation de Poincaré, note 1.

## 48.19 Potier à Poincaré

23 Janvier 1905

Mon cher Confrère,

Il est impossible que vos travaux sur les fonctions fuchsiennes n'en aient pas suscité beaucoup d'autres étendant vos résultats, ou montrant quelques applications ; il est probable que cette littérature a dû pousser quelqu'un à réunir les faits acquis et à condenser sous forme de livre des mémoires dispersés un peu partout. Si ce livre existe, vous me feriez grand plaisir en me l'indiquant, sinon, j'attendrai la publication du volume annoncé de l'*Encyclopédie des Sciences mathématiques*.<sup>1</sup>

Il y a déjà longtemps que je voulais vous le demander, mais votre communication de Lundi dernier me fournit une occasion.<sup>2</sup> Vous indiquez comme mesure d'un angle so-

lide, la somme des aires des régions positives et négatives découpées sur l'hypersphère de rayon un, pourquoi cette définition qui donne  $2\pi$  du dièdre droit ou  $\pi$  pour le trièdre trirectangle ? Ne serait-il pas plus conforme à l'usage de ne prendre que les régions positives ; alors l'angle solide formé par les axes coordonnés dans l'espace à  $n$  dimensions seraient toujours égal à  $\frac{\pi}{2}$  quelque soit  $n$  ; et l'angle dièdre formé par deux plans

$$\sum a_i x_i = 0 \quad \sum b_i x_i = 0$$

aura pour cosinus

$$\sum a_i b_i \cdot \frac{1}{\sqrt{\sum a_i^2 \cdot \sum b_i^2}}$$

comme celui des deux droites

$$\frac{x_1}{a_1} = \frac{x_2}{a_2} \dots = \frac{x_n}{a_n} \quad \frac{x_1}{b_1} = \frac{x_2}{b_2} \dots = \frac{x_n}{b_n}$$

perpendiculaires à ces deux plans et dont la définition se ramène à une intégrale simple prise entre deux points d'un arc de grand cercle sur l'hyper-sphère c'est à dire l'ensemble des points de l'hypersphère qui se trouvent sur  $n - 2$  plans distincts passant par les deux droites.

J'ai eu occasion d'observer les différences profondes que présentent les théories suivant que  $n$  est pair ou impair : ainsi si on cherche une substitution  $S$  telle qu'en la répétant on retombe sur la substitution identique ( $S_1 = 1$ ) on trouve deux substitutions, l'identique d'abord puis l'identique changée de signe ; maintenant si on veut trouver une substitution qui répétée deux fois reproduise la 1<sup>re</sup> changée de signe ou symboliquement si l'on veut résoudre  $S^4 = 1$  ou  $S^2 = -1$  on trouve qu'il n'y a pas de solution proprement dite quand  $n$  est impair tandis qu'il y en a une infinité pour  $n = 2, 4, 8$ , en ce sens que l'on peut se donner arbitrairement les coefficients de la substitution pour l'une des nouvelles variables sauf un qui est nul.

Bien entendu il ne s'agit que de substitutions orthogonales conservant les longueurs et par substitutions proprement dites j'entends celles qui intéressent tous les axes coordonnés et ne sont pas les produits de substitution intéressant seulement un certain nombre de ces axes.

Vous me ferez plaisir en répondant à la question par laquelle débute cette lettre.<sup>3</sup>

Votre bien dévoué,

A. Potier

#### ALS 5p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Après la mort de Potier le 08.05.1905, Poincaré (1905b) relate la question que Potier lui pose ici. Un article sur les fonctions automorphes sera rédigé par Robert Fricke (1913). Poincaré signale à Potier le livre co-écrit par Fricke et Félix Klein (1897–1912) dans une lettre que nous n'avons pas retrouvée ; voir la lettre de Potier du 25.01.1905 (§ 48.20).

<sup>2</sup>Poincaré (1905e), note présentée le 16.01.1905.

<sup>3</sup>La réponse de Poincaré nous manque, mais il a répondu rapidement, parce que Potier lui a envoyé une réponse 48 heures après la rédaction de cette lettre (§48.20).

## 48.20 Potier à Poincaré

25 Janvier 1905

Mon cher Confrère,

La phrase définissant les substitutions propres est un pléonasme ou une bêtise car on ne peut satisfaire à la condition  $S^2 = -1$  que si toutes les coordonnées sont altérées non seulement dans  $S$  mais dans  $S^2$ ; en voici l'origine.

On m'avait posé la question : Est-il possible qu'un tableau de  $N^2$  cosinus directeurs soit gauche, ou que  $\alpha_{ij} + \alpha_{ji} = 0$ , la réponse est la suivante, on peut toujours s'arranger par un numérotage convenable des axes de manière que les  $\alpha_{jj}$  ou les éléments constituant la diagonale de gauche à droite et de haut en bas soient disposés en ordre croissant depuis (00) jusqu'à (NN). Alors le tableau général se décompose en carrés dans chacun desquels les  $\alpha_{jj}$  ont la même valeur, variable d'un carré à l'autre dans les bandes rectangulaires en dehors de ces carrés tous les cosinus sont nuls de sorte que si un de ces éléments diagonaux est unique il est forcément égal à 1 et situé à l'extrémité inférieure de la diagonale; il est évident qu'il peut y avoir plusieurs de ces éléments diagonaux égaux à l'unité à la suite les uns des autres c'est à dire plusieurs coordonnées non altérées, mais en dehors de ce cas où le carré ne contient qu'un élément tous les autres carrés doivent avoir un nombre pair d'éléments et chacun d'eux correspond à une substitution n'intéressant que certains éléments.

J'avais appelé substitution propre celles dans lesquelles il n'y a qu'un carré embrassant tout le tableau; accidentellement j'ai vu qu'une solution quelconque étant obtenue on pouvait en déduire une autre dans laquelle tous les éléments diagonaux sont nuls et réciproquement. Les solutions de ce type à éléments diagonaux nuls et sans ligne ni colonne composées de zéros sont les seules intéressantes et sont aussi les solutions de  $S^4 = 1$ .

Je vous remercie de votre indication.<sup>1</sup> Monsieur Fricke est précisément l'auteur de l'article sur les Fonctions automorphes dans l'*Encyclopédie*; ces articles se vendent trois ou quatre marks ce sera donc très succinct et il ne manquera pas de renvoyer abondamment au livre que vous me citez et qui comprend un gros volume (22 marks) de 1897 et un second volume dont la première moitié seule a paru en 1901 comme l'indique un catalogue de Teubner que je viens de recevoir.<sup>2</sup> C'est donc celui-ci qui fera mon affaire mais le nom de Mr Fricke y est associé avec celui de F. Klein que je croyais au dessus des petites choses que vous me signalez.<sup>3</sup>

Je vous remercie bien,

Votre dévoué Confrère,

A. Potier

### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>La réponse de Poincaré à la lettre de Potier du 23.01.1905 (§48.19) n'a pas été retrouvée.

<sup>2</sup>Robert Fricke (1861–1930) enseigne les mathématiques à la Technische Hochschule de Braunschweig.

<sup>3</sup>Fricke (1913); Klein et Fricke (1897–1912). Les rapports entre Klein et Poincaré ont pu être tendus au début des années 1880, lorsque Klein voyait en Poincaré un rival pour la domination de la communauté mathématique. A ce propos, voir J. Gray (2000), Rowe (1992), et la correspondance entre Klein et Poincaré (vol. 4). Le directeur de l'édition française de l'*Encyklopädie* de Klein, Jules Molk veut que Poincaré prenne en charge l'article sur les fonctions automorphes (correspondance, vol. 4).

# Chapitre 49

## Camille Raveau

Camille Raveau (1867–1953) entre à l'École normale supérieure en 1886, et assiste au cours de thermodynamique de Poincaré pendant l'année universitaire 1889–1890. Après avoir travaillé dans un laboratoire du conservatoire national des arts et métiers, il devient bibliothécaire de l'Institut Pasteur. De 1904 à 1946 il est secrétaire de la rédaction des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. Selon Louis de Broglie (1953), “Cet homme d'une haute culture auquel les littératures classiques étaient aussi familières que les sciences, a été dans le domaine de la Physique théorique un savant d'un grand mérite.”

Il s'intéresse à la thermodynamique, mais aussi à l'optique et à l'électromagnétisme. C'est dans ce dernier domaine que Poincaré se réfère à lui, dans un article sur l'induction unipolaire (1900e).

### 49.1 Raveau et al. à Poincaré

[Ca. 01.1889]

Monsieur Poincaré, Membre de l'Institut, Lauréat du Concours international du roi de Suède.<sup>1</sup>

Monsieur et Cher Maître,

Les auditeurs de votre cours sont heureux de vous offrir leurs respectueuses félicitations pour l'éminente distinction que vous venez de remporter sur tous les savants de l'Europe, et dont l'éclat rejaille sur la Science française tout entière.<sup>2</sup>

R. Lespiau	P. Philippon	Pronnier
H. Abraham	O. Callandreau	Fourmier
C. Raveau	A. Guillet	J. de Joannis
Bernard Brunhes	Baron	Chanut
M. Petiteau	C. Knole	Lapreste
Sacerdote	[illisible]	A. Jonquière
	Naud	G. Saussina
	[illisible]	Nolot
	Matigny	
	R. Dongier	
	L. Chais	

#### ALS 1p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Le résultat du concours du roi Oscar II est annoncé par G. Mittag-Leffler le 21.01.1889 (Poincaré, 1999, § 77). Le mémoire de Poincaré (1890c) concerne le problème restreint des trois corps, à propos duquel voir Barrow-Green (1997).

<sup>2</sup>Les signataires suivent les leçons de Poincaré sur la thermodynamique (1892i), prononcées à la Sorbonne lors du premier semestre de l'année universitaire 1889–1890.

## 49.2 Raveau à Poincaré

Paris, le 3 Novembre 1890

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

PHYSIQUE – LABORATOIRE D'ENSEIGNEMENT

Monsieur,

Je regrette vivement de vous avoir fait attendre et surtout de n'avoir pu vous parler. Pour ne pas vous déranger, je me permets de vous écrire pour vous exposer quelques remarques ; je vous avouerai d'ailleurs que je préfère éviter la discussion orale, dans laquelle vous comprendrez facilement que je suis un peu ému. Le manuscrit que je vous envoie <sup>1</sup> se divise en trois points : j'ai d'abord essayé de montrer que la théorie des cellules, ou celle de Poisson, sont sujettes à des objections graves et que, si elles rendent compte de la variation de potentiel, elles n'expliquent pas la variation de l'attraction entre les conducteurs ;<sup>2</sup> ensuite je cherche à établir par des citations que la pensée de Maxwell est absolument en dehors de toute idée analogue à la théorie de Poisson ou à celle de la polarisation, telle que la comprend Helmholtz ; enfin, je remarque que dans un mémoire postérieur, Helmholtz a retrouvé des conclusions analogues à celles qu'il déduit à la fin de son premier travail, et cela par un calcul qui est incontestablement vicié par une faute d'homogénéité.<sup>3</sup> Quand un auteur donne de ses propres idées des démonstrations aussi contestables, je crois qu'il y a lieu d'examiner sérieusement tout ce qu'il dit.

En résumé, vous vous rappelez sans doute que le résultat de la discussion était que les idées de Helmholtz, idées certainement peu claires, peuvent se défendre si on adopte la théorie des cellules et que cette théorie rend compte des faits fondamentaux de l'électrostatique. Sur ce dernier point vous m'avez présenté une affirmation à laquelle je n'ai rien répondu, mais que j'essaie de discuter aujourd'hui.

Je vous prie, Monsieur, d'accepter, avec l'expression de mes regrets pour la perte de temps que va vous causer la lecture de cette lettre l'assurance de mon profond respect,  
C. Raveau

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Le manuscrit en question nous manque ; il s'agit peut-être de Raveau (1891).

<sup>2</sup>Dans la théorie du magnétisme induit de Poisson, des cellules conductrices microscopiques sont distribuées dans le fer. Une force magnétique externe sépare les fluides magnétiques dans chaque cellule, de telle sorte que des dipôles se forment, ce qui génère des forces magnétiques secondaires (Whittaker, 1951–1953, I, 64–65).

<sup>3</sup>Poincaré traite ce sujet dans son cours de 1889–1890 sur “Les théories de Helmholtz et les expériences de Hertz” (1890–1891, II). A propos des contributions de Helmholtz en électrodynamique, voir Darrigol (2000a, 227).

## Chapitre 50

# Wilhelm Conrad von Röntgen

Wilhelm Conrad von Röntgen (1845–1923) étudie à l’université d’Utrecht en 1864, et l’année suivante, à la école polytechnique fédérale de Zurich, où il suit les cours de Rudolf Clausius (1822–1888), et obtient un diplôme d’ingénieur en mécanique en 1868. Il soutient une thèse de physique en 1869 à l’université de Zurich, sous les conseils d’August Kundt (1839–1894), qui l’engage comme assistant, et l’amène avec lui à l’université de Würzburg en 1870, puis à la Kaiser-Wilhelm-Universität de Strasbourg en 1872, où Röntgen devient Privatdozent en 1874. En 1879 il devient professeur à l’université de Giessen, et en 1888, à l’université de Würzburg, où il succède à Friedrich Kohlrausch (1840–1910).

C’est à Würzburg que Röntgen découvre l’effet magnétique de la rotation d’un disque de verre non-électrifié entre les plaques d’un condensateur, ce qu’on explique bientôt par rapport aux “courants de Röntgen” dans la théorie de Maxwell (Whittaker, 1951–1953, I, 399). Röntgen devient recteur de l’université de Würzburg en 1894, et en décembre 1895, découvre les rayons X. Il envoie un tirage de son article sur ce sujet à tous les grands physiciens, y compris Poincaré, qui rédige rapidement un article de vulgarisation (1896c) au sujet de la découverte.

En 1899, Röntgen devient professeur de physique à l’université de Munich, où il dirige l’institut de physique jusqu’à sa retraite en 1919. Sa découverte des rayons X est couronné par le premier prix Nobel de physique en 1901 (*DSB* ; Leicht, 1994 ; Scheutzel, 1995).

## 50.1 Poincaré à Röntgen

[Ca. 07.1896]

Monsieur et très honoré Collègue,

J'ai bien tardé à vous écrire pour vous exprimer mes remerciements de votre envoi et mon admiration pour votre belle découverte.<sup>1</sup>

Ma curiosité en est vivement excitée ; c'est un agent aussi nouveau que l'était l'électricité du temps de Gilbert ; toutes les fois qu'une force nouvelle nous est ainsi révélée, il semble que Dieu veut brusquement nous rappeler que nous sommes entourés de mystères et que la science ne nous les dévoilera qu'un à un.<sup>2</sup>

Vous devez être assailli de demandes de tous côtés ; aussi j'ose à peine vous demander des explications de détail sur certains points.

Vous dites que vous avez fait des essais d'interférence, d'ailleurs infructueux ; je ne me figure pas bien comment vous avez pu vous y prendre ; qui dit interférence suppose deux rayons partis d'un même point et aboutissant au même point après avoir parcouru des chemins différents. Comment cela est-il possible si ces rayons rectilignes ne peuvent être déviés ni par la réfraction, ni par l'aimant ?<sup>3</sup>

On peut se demander si les rayons X ne peuvent être provoqués que par les rayons cathodiques ; ou s'ils sont émis par les corps fluorescents quelle que soit la cause de leur fluorescence.<sup>4</sup> Dans l'ignorance où nous sommes, toutes les hypothèses sont possibles ; l'essai semble facile ; l'avez-vous tenté ?

Je lis dans je ne sais quel journal qu'un Anglais, M. Gifford aurait observé dans le passage des rayons ... (le journal dit cathodiques, s'agit-il réellement des rayons cathodiques ou des rayons X) à travers les métaux « quelque chose d'analogue à la polarisation. »<sup>5</sup> Avez-vous entendu parler de cela ou est-ce un simple produit de l'imagination du journaliste. Veuillez agréer, Monsieur et Cher Collègue, l'assurance de mon sincère dévouement,  
Poincaré

### ALS 3p. Deutsches Röntgen Museum.

<sup>1</sup>Röntgen envoie à quelques hommes scientifiques de premier plan le 01.01.1896 son article (1895) annonçant la découverte des rayons X (Seliger, 1995, 29).

<sup>2</sup>William Gilbert (1544–1603), *fellow* de St. John's College, Cambridge, médecin de la reine Elizabeth I, met en évidence le magnétisme terrestre. Le sentiment exprimé par Poincaré se retrouve dans un article qu'il écrit pour les lecteurs de la *Revue générale des sciences pures et appliquées* (1896c, 56).

<sup>3</sup>A partir de l'absence apparente de réfraction des rayons X, W.C. Röntgen suppose qu'il s'agit d'ondes longitudinales. Selon Poincaré, cette absence de réfraction est la propriété "la plus extraordinaire" des rayons Röntgen (1896c, 55). En fait, comme le remarque Wheaton (1983, 18), plusieurs théoriciens, tels W. Thomson, L. Boltzmann, et G. Jaumann, ont voulu croire qu'il s'agissait d'ondes longitudinales. Mais l'absence de réfraction n'avait pas besoin de cette hypothèse ; elle se laissait expliquer chez J.J. Thomson par la théorie de la dispersion de Helmholtz, selon laquelle dans toute substance l'indice de réfraction s'approche d'unité pour des fréquences très élevées (Darrigol, 2000a, 305).

<sup>4</sup>Poincaré (1896c) lance cette conjecture dans un article publié le 30.01.1896. Les physiciens sont nombreux à suivre cette suggestion, y compris Henri Becquerel, qui s'intéresse aux propriétés des sels d'urane. C'est cette voie qui le mènera au prix Nobel de physique, décerné à Becquerel, Pierre Curie, et Marie Curie en 1903.

<sup>5</sup>J. William Gifford (1856–1930) gère une fabrique de dentelle. Il écrit souvent dans *Nature* à propos de la production des rayons X. La note qui intéresse Poincaré (Gifford, 1896) fut publiée le 25.06.1896.



# Chapitre 51

## Georges Sagnac

Georges Sagnac (1869–1928) est admis à l'École normale supérieure en 1889, et y entre en 1890 après une année de service militaire. Il suit le cours de Poincaré sur les oscillations hertziennes en 1892–1893, et devient agrégé de physique. A partir de 1896, il s'intéresse—comme beaucoup de physiciens—aux propriétés des rayons X, et communique plusieurs résultats expérimentaux à l'Académie des sciences notes aux *Comptes rendus* sur ce sujet. Notamment, il montre, comme le remarque Wheaton (1983, 44), que les rayons secondaires venant des métaux irradiés sont plus absorbés par l'air que les rayons primaires. Il s'intéresse également à la théorie de la propagation des ondes électromagnétiques, et publie une théorie nouvelle (1899a; 1899b) qui explique le résultat de l'expérience de Fizeau (1851) sur l'entraînement de l'éther par l'eau courante.

Alors qu'il n'a pas encore soutenu sa thèse, il est invité à contribuer un mémoire (1900b) au *Festschrift* des vingt-cinq ans du doctorat de H.A. Lorentz (§ 38). Il pense lui-même que cette invitation lui vient par l'intermédiaire de Poincaré (§ 51.4), qu'il cite dans sa note (1899b) aux *Comptes rendus*.

Sagnac soutient sa thèse sur les rayons X primaires et secondaires en décembre 1900, et enseigne à la faculté des sciences de Lille. En 1903, il s'intéresse à la théorie de la diffraction des rayons N, et invoque, au passage, une explication de Poincaré au sujet d'une observation de Blondlot (§ 9).<sup>1</sup> Il devient chargé de cours de physique à la Sorbonne en 1904, succédant à Pierre Curie (§ 19).

Toujours intéressé par l'optique des corps en mouvement, Sagnac (1913) met en évidence ce qu'il appelle l'"effet tourbillonnaire optique", avec un dispositif interférométrique capable de mesurer des vitesses de déplacement angulaire : deux faisceaux lumineux se propageant en sens inverse le long d'un trajet fermé contenu dans un plan, subissent un déphasage relatif, proportionnel à la vitesse de rotation autour d'un axe perpendiculaire à ce plan. Il estime que ses expériences démontrent l'existence d'un éther immobile et reste dans le camp des opposants à la théorie de la relativité.<sup>2</sup>

En 1920, Sagnac devient maître de conférences de physique à la Sorbonne, et deux ans plus tard, professeur adjoint de physique. Confronté par des ennuis de santé, il se retire

de l'enseignement en 1926.<sup>3</sup>

Dans un premier temps, la correspondance entre Poincaré et Sagnac concerne l'interprétation des expériences de Wladimir de Nicolaïève (§ 43), qui veut savoir si un aimant en rotation entraîne avec lui ses lignes de force. Interpellé par Sagnac à ce sujet, Poincaré essaie de le convaincre que les observations de de Nicolaïève sont conformes au principe de réaction. Un an plus tard, Sagnac explique à Poincaré que sa théorie de l'optique des corps en mouvement a été développée en ignorance de celle de H.A. Lorentz (1899a).

### Notes

<sup>1</sup>Lors de la séance de la société française de physique du 05.06.1903, Sagnac (1903, 177) rapporte un commentaire de Poincaré, selon lequel les variations d'intensité des rayons N réfractés par le quartz tiennent à son profil d'absorption.

<sup>2</sup>Pour une dérivation relativiste de l'effet Sagnac, voir J. Wheeler et I. Ciufolini (1995, 107).

<sup>3</sup>Sur la carrière de Sagnac, voir Philippe Sagnac (1929), Maurain et Pacaud (1940), et le *DSB*.

## 51.1 Poincaré à Sagnac

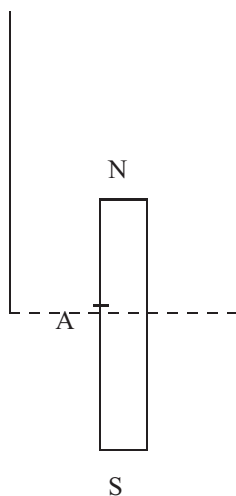
[Ca. 06–07.1899]

Cher Monsieur,

Il y a longtemps que je voulais vous écrire au sujet des notes de M. Nicolaïeff.<sup>1</sup>

Il y a là évidemment des choses intéressantes, mais ne pourrait-on faire deux notes au lieu de trois? Quant aux figures, il serait nécessaire qu'il envoie les bois, sans cela elles ne pourraient être insérées.<sup>2</sup>

Le paradoxe apparent s'explique très aisément. L'action d'un pôle Nord sur un cylindre indéfini (parcouru par le courant dans le sens des génératrices) est de faire tourner le cylindre.



L'action du cylindre sur le pôle Nord est de faire tourner l'aimant. Maintenant si le cylindre était réellement indéfini, il y aurait à l'intérieur un pôle Nord et un pôle Sud, et les deux actions se compenseraient exactement.

Aussi on prend un cylindre limité de façon que le pôle *N* soit dedans et le pôle *S* dehors. A l'intérieur du cylindre le champ dû à ce cylindre est nul; cela est vrai seulement si le cylindre est réellement indéfini.

Donc en *N* le champ est pratiquement nul, de même en *S*.

Mais en *A* il n'est pas nul.

Si donc nous considérons l'aimant comme formé de courants particuliers d'Ampère, l'action du cylindre sur les courants situés en *N* ou en *S* sera nulle; mais non l'action sur les courants particuliers situés en *A*.

Votre tout dévoué,

Poincaré

<sup>1</sup>Sagnac semble avoir communiqué à Poincaré les notes en question de W. de Nicolaïève (1899b; 1899a), qui veut savoir si les lignes de force magnétique d'un aimant tournent avec le mouvement de rotation de l'aimant. Dans un article sur l'induction unipolaire, Poincaré (1900e) estime que la question n'a pas de sens.

<sup>2</sup>Deux notes de de Nicolaïève seront communiquées par Poincaré à l'Académie des sciences en 1899, avec des figures.

## 51.2 Sagnac à Poincaré

[Ca. 06–07.1899]<sup>1</sup>

Suisse Sigriswil s/ Gunten (lac de Thun), canton de Berne

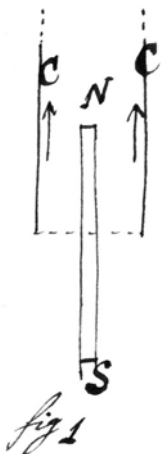
Monsieur,

Je m'empresse de répondre à la lettre où vous voulez bien m'indiquer l'explication du phénomène étudié par M. de Nicolaïev.<sup>2</sup>

Je ne pense pas que M. de Nicolaïev ait d'objection à faire au sujet de la réunion de ses deux premières notes en une seule.

Pour les figures, j'écris à M<sup>r</sup> Montreuil de vouloir bien les faire tirer comme il l'a fait souvent pour mes notes aux *Comptes Rendus*. De cette manière la note de M. de Nicolaïev déposée le lundi paraîtra sans difficulté le samedi suivant avec les figures.

Je ne sais si vous avez été frappé d'une particularité qui me paraît importante :



Quand on enfonce le pôle *N* dans le cylindre *C* (fig 1) parcouru par un courant suivant ses génératrices, le cylindre *C* entre en rotation non seulement s'il est libre mais encore s'il est mécaniquement lié à l'aimant. Dans ce dernier cas l'aimant est entraîné dans le mouvement de rotation du cylindre *C*. Mais s'il n'y a pas de lien mécanique entre les deux pièces *C* et *NS*, l'aimant *NS* reste immobile ; c'est du moins ce que m'a dit M de Nicolaïev dans l'une de ses lettres. C'est là il me semble un bel exemple d'exception à la loi de l'action et de la réaction : l'aimant agit par l'intermédiaire du champ magnétique ambiant pour faire tourner le cylindre *C* ; mais le cylindre *C* n'exerce pas d'action électromagnétique sur l'aimant *NS*, il peut seulement entraîner *NS* lorsque les deux pièces sont mécaniquement liées. Ce résultat pourrait s'énoncer ainsi :

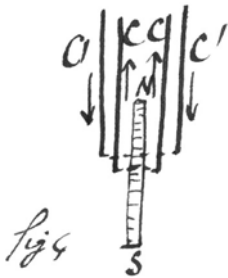


1° quand un cylindre métallique, parcouru suivant ses génératrices par un courant électrique, tourne autour de son axe, les filets de courant ne sont pas fixes dans l'espace, *ils sont entraînés* dans le mouvement de rotation du cylindre en même temps que les filets de matière qui les portent. Inversement, si comme dans l'expérience de la fig. 1, un couple magnétique s'exerce sur ces filets de courant, ces filets entraînent dans leur mouvement de rotation la matière qui les porte : tout se passe comme si au lieu d'un cylindre continu on avait une cage cylindrique formée de fils rectilignes parallèles isolés les uns des autres (fig. 2)



2° quand l'aimant  $NS$  tourne sur lui-même autour de son axe, les lignes de force magnétique qui émanent du pôle  $N$  *ne sont pas entraînées* dans le mouvement de rotation de l'aimant, elles sont fixes dans l'espace comme si l'aimant ne tournait pas. Alors quand le cylindre  $C$  tourne chaque génératrice  $\gamma$  de ce cylindre coupe réellement les lignes de force issues du pôle  $N$  aussi bien si l'aimant  $NS$  tourne avec le cylindre  $CC$  que si l'aimant  $NS$  est fixe (fig. 3)

Peut-être y a-t-il d'autres phénomènes en même temps que les précédents. Toutefois dans ma correspondance avec M. de Nicolaïev j'ai insisté plus d'une fois sur l'intérêt qu'il y aurait de constater un cas de rotation de l'aimant  $NS$  supposé *libre* ; mais M. de Nicolaïev ne l'a pas observé ; dans ses expériences l'aimant  $NS$  ne tourne que s'il est lié au cylindre.



Je regrette que M. de Nicolaïev n'ait pas voulu se placer à ce point de vue. Il me semble que son expérience de la 3<sup>e</sup> note, où il y a deux cylindres  $C$ ,  $C'$  (fig. 4) s'expliquerait ainsi :<sup>3</sup>

Le cylindre et le cylindre  $C'$  tournant sous l'influence du pôle  $N$ , chacun en sens inverse de l'autre parce qu'ils sont parcourus par des courants l'un ascendant (cylindre  $C$ ) l'autre descendant (cylindre  $C'$ ). Mais *l'aimant  $NS$  ne tourne que parce qu'il est invariablement lié au cylindre  $C$  ; il est entraîné mécaniquement* par le cylindre  $C$  sans que sa rotation l'empêche d'exercer un couple magnétique sur  $C$  et sur  $C'$  ; le résultat serait le même si l'on supprimait le cylindre  $C'$ .

Je serais bien heureux de savoir si je ne commets pas quelque erreur dans ma manière d'interpréter le résultat de M. de Nicolaïev. Pardonnez moi, Monsieur, de vous importuner

par une aussi longue lettre et veuillez croire à mes sentiments les plus respectueux et les plus dévoués,  
G. Sagnac

**ALS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Une brouillon sans date se trouve aux Archives nationales (AB XIX 3534).

<sup>2</sup>W. de Nicolaïève (§ 43); voir (§ 51.1).

<sup>3</sup>Il s'agit vraisemblablement de l'expérience décrite par de Nicolaïève (1899b).

## 51.3 Poincaré à Sagnac

[Ca. 06–07.1899]

Cher Monsieur,

dans les expériences de M. de Nicolaiew telles que je les comprends, je ne vois pas de dérogation au principe de l'égalité de l'action et de la réaction.

Soit  $E$  l'électroaimant,  $C$  et  $A$  les deux courants tubulaires, l'un montant, l'autre descendant.<sup>1</sup>

Soient : (pour les couples de rotation)<sup>a</sup>

action de	$E$	sur	$C$	+1
...	$C$	...	$E$	-1
...	$E$	...	$A$	-1
...	$A$	...	$E$	+1
...	$A$	...	$C$	0
...	$C$	...	$A$	0

Si  $E, C, A$  sont indép.<sup>b</sup>

$E$	est soumis au couple	+1 - 1 = 0
$C$	...	+1 + 0 = 1
$A$	...	-1 + 0 = -1

Si  $E$  est lié à  $C$  le système  $E + C$  est soumis au couple<sup>c</sup>

$$+1 + 1 - 1 + 0 = 1$$

$E$  et  $C$  se mettent à tourner.

Si  $E$  est lié à  $A$  le système  $E + A$  tourne pour la même raison.

<sup>a</sup>Dans la colonne à l'extrême droite, une main inconnue a barré au crayon les termes des deuxième et quatrième rangs, les remplaçant par zéro.

<sup>b</sup>Au premier rang de la colonne à droite, une main inconnue a barré au crayon les membres gauches de la formule, les remplaçant par zéro.

<sup>c</sup>Une main inconnue a barré au crayon le deuxième et le troisième membres de la formule, les remplaçant par zéro.

Si  $C$  est lié à  $A$  tout reste en repos.

Il me semble que tout cela s'explique de la façon la plus simple.<sup>2</sup>

Votre bien dévoué,

Poincaré

**ALS 3p. AB XIX 3534, Fonds Sagnac, Archives nationales, Paris.**

<sup>1</sup>Il s'agit de la configuration montrée dans (§ 51.2), figure 4.

<sup>2</sup>Poincaré (1900e) considère qu'il est insensé de se demander si un aimant en rotation entraîne avec lui ses lignes de force. A ce propos, voir Arzeliès (1957–1958, I, 267).

## 51.4 Sagnac à Poincaré

15 Septembre 1900

Suisse Hôtel Bluemlisalp, à Aeschi/Spiez (canton de Berne)

Monsieur,

Peut être avez-vous lu avec quelque intérêt mon article du *Journal de Physique* d'Avril dernier sur la transmission de la lumière dans les milieux en repos ou en mouvement.<sup>1</sup>

L'ayant envoyé à Mr H.A. Lorentz, j'ai reçu son mémoire de l'Académie d'Amsterdam (25 Avril 1899) intitulé "Simplified Theory of electrical and optical Phenomena in moving Systems".<sup>2</sup> Je viens de le lire et je m'aperçois qu'il y a identité, au second ordre près, entre le principe sur lequel repose le changement de la variable *temps*, effectué par M<sup>r</sup> H.A. Lorentz au §4 de son mémoire, et le *principe de l'effet de mouvement* que j'ai énoncé avec la même approximation dans mon article du *Journal de Physique*.

C'est pourquoi je tiens beaucoup à vous dire que j'ignorais la théorie de M<sup>r</sup> H.A. Lorentz. Mes réflexions sur le rôle des particules matérielles dans les phénomènes optiques remontent d'ailleurs à 1890 et 1891, époque à laquelle j'étudiais à l'École Normale la Chimie, la Minéralogie et l'optique minéralogique, et ont été provoqués par ces diverses études qui me paraissaient dominées par la notion de la *discontinuité* de la matière si riche de conséquences en chimie atomique et presque tangible dans les particularités du clivage et de la dureté des cristaux.

Mes hypothèses se sont précisées peu à peu, en particulier grâce à la lecture du mémoire de M<sup>r</sup> Gouy sur la propagation anormale de la lumière en 1892 et, en 1893, par ceux de Hertz sur la force électrique, pendant que je suivais vos leçons sur les oscillations électriques.<sup>3</sup>

Mais, dès le début, je m'étais posé la question de l'effet Fizeau relatif à l'entraînement des ondes et j'avais aperçu ce qu'il y a de fondamental dans le mécanisme de ce phénomène ; j'en ai souvent parlé à mes camarades de l'École Normale plus tard à M<sup>r</sup> Bouty à qui j'ai remis en 1893, puis en 1894 des résumés relatifs à mes idées théoriques et à mes projets de vérification expérimentale. En 1896, ayant déjà obtenu l'explication de l'entraînement de l'éther telle que je l'ai exposée dernièrement, je m'occupais des conséquences de mes idées relativement à la réflexion vitreuse de la lumière polarisée et je me disposais même à poursuivre activement des expériences destinées à les contrôler ; ces recherches étaient

en bonne voie, lorsque, sur le conseil pressant de M<sup>r</sup> Bouty, je fus amené à les laisser provisoirement de côté pour approfondir l'étude des rayons X dont je m'étais déjà occupé incidemment. Ces nouvelles recherches m'entraînèrent plus loin que je n'avais prévu ; je fus, d'autre part, retardé d'un an par une pleurésie, et je n'ai pu terminer que dernièrement ma thèse sur les rayons X, déposée depuis la fin de Juillet entre les mains de M<sup>r</sup> Bouty.<sup>4</sup> Voilà pour quelles raisons je n'ai pu rédiger que récemment des résultats d'optique théorique que je possédais tels quels depuis près de cinq ans et dont l'origine remonte à dix ans. Mon travail du *Journal de Physique* a donc eu une histoire tout à fait indépendante de la théorie de M<sup>r</sup> H.A. Lorentz dont je viens de prendre connaissance.

Peut-être est-ce à votre recommandation, Monsieur, que je dois d'avoir reçu de Hollande une circulaire m'invitant à envoyer une note de physique pour le prochain jubilé de Docteurat du Prof<sup>r</sup> H.A. Lorentz. Je me propose d'envoyer une note relative à des relations nouvelles entre la réflexion et la réfraction vitreuses de la lumière polarisée.<sup>5</sup> C'est la question que j'avais provisoirement laissée de côté, il y a plus de quatre ans, quand j'ai commencé mes recherches sur les rayons X. Je compte avoir assez de temps pendant le mois d'Octobre pour mettre ce travail au point. Vous serez sans doute assez bon, Monsieur, pour me recevoir à Paris dans le courant d'Octobre ; je désire bien vivement connaître votre haute appréciation relativement à mon travail.

Je vous prie, Monsieur, de croire à mes sentiments les plus respectueusement dévoués et, d'avance, bien reconnaissants.

G. Sagnac

#### ALS 5p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Sagnac (1900c). Hippolyte Fizeau (1851) avait observé la variation de la vitesse de la lumière en faisant passer un faisceau lumineux à travers un cylindre parcouru d'un écoulement d'eau. Il confirmait ainsi les hypothèses de Fresnel sur l'entraînement partiel de l'éther dans un milieu en mouvement. Sagnac considère que la vibration lumineuse traversant la colonne d'eau est définie comme la résultante d'un nombre théoriquement infini de vibrations élémentaires transmises par l'éther du vide et retardées par les allées et venues entre les particules qui les réfléchissent. C'est ce qu'il appelle "l'effet du mouvement" à partir duquel il retrouve la formule de Fizeau qui donne la diminution de la durée de propagation sous l'effet de l'écoulement de l'eau :

$$T - T' = \frac{Lv}{V_0^2}(n^2 - 1),$$

où  $T$  est la durée de propagation de la lumière le long du cylindre de longueur  $L$  sans écoulement d'eau,  $T'$  est la même durée dans le cas d'un écoulement à la vitesse  $v$ ,  $V_0$  est la vitesse de propagation de la lumière "dans l'éther du vide",  $n$  l'indice de réfraction de l'eau. Dans l'article évoqué par Sagnac, Lorentz introduit une transformation de coordonnées équivalente à la "transformation de Lorentz" moderne, à l'exception d'un facteur commun, par laquelle il explique l'absence d'effets optiques (jusqu'au deuxième ordre d'approximation en  $v/c$ ) du mouvement de la terre avec une vitesse  $v$  par rapport à l'éther supposé immobile.

<sup>2</sup>Lorentz (1899a).

<sup>3</sup>Gouy (1890b,a); Poincaré (1894a). Georges Gouy (1854–1926) enseigne la physique à la faculté des sciences de Lyon depuis 1883.

<sup>4</sup>Sagnac (1900a), thèse soutenue à la Sorbonne le 21.12.1900 devant la commission d'examen composé de Gabriel Lippmann, Edmond Bouty, et Émile Duclaux.

<sup>5</sup>Sagnac (1900b).

## Chapitre 52

# Édouard Sarasin

Édouard Sarasin (1843–1917) étudie à l'Académie de Genève, et à l'École polytechnique, en tant qu'élève externe, étant de nationalité suisse. Il passe sa licence ès sciences à Paris, et continue ses études à Berlin, dans le laboratoire de Gustav Magnus, et à Heidelberg, afin de travailler avec Robert Bunsen. En 1867 il revient en Suisse et collabore avec Auguste de la Rive (1801–1873) dans le laboratoire privé de ce dernier, menant des expériences sur la décharge électrique dans des gaz rarifiés. A partir de 1875, Sarasin collabore avec Louis Soret (1827–1890) dans l'étude de la polarisation rotatoire du quartz. A la mort de Soret, Sarasin devient directeur des *Archives de Genève*. Il reçoit un doctorat *honoris causa* de l'université de Genève en 1909 (Speziali, 1997).

Entre 1890 et 1892, Sarasin collabore avec Lucien de la Rive (fils d'Auguste) dans des recherches sur les ondes hertziennes. La correspondance avec Henri Poincaré porte surtout sur le phénomène de la résonance multiple mis en évidence par Sarasin et de la Rive.

### 52.1 Sarasin à Poincaré

Genève le 15 septembre 1890  
BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE  
ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

Monsieur et cher Collègue,

Je m'empresse de vous adresser mes plus sincères remerciements pour la manière si aimable avec laquelle vous avez bien voulu répondre à la demande indiscrette que je vous avais adressée.<sup>1</sup> Puisque vous voulez bien me faire espérer pour les *Archives* un article plus développé sur les études mathématiques relatives aux ondulations électriques que vous avez donné récemment en abrégé aux *Comptes Rendus* il va sans dire que vous avez pleine latitude de donner à ce mémoire la longueur qui vous paraîtra convenable.<sup>2</sup>

Pour ne pas perdre de temps et en attendant l'article complet que vous voulez bien me promettre, j'ai pensé insérer dans le n° sous presse des *Archives* la reproduction abrégée de



vosre communication aux *Comptes Rendus* suivi d'une petite note de mon collaborateur et ami M. de la Rive.<sup>3</sup> J'espère que vous n'y verrez aucun inconvénient.

En ce qui concerne les questions que vous me faites l'honneur de me poser je m'empresse de répondre que ce ne sont pas des *harmoniques* proprement dits que nous avons constatés dans nos recherches M. de la Rive et moi, mais bien un spectre continu ou du moins une bande spectrale.<sup>4</sup> En effet opérant avec un conducteur primaire de Hertz de dimensions invariables et faisant varier graduellement les dimensions du conducteur secondaire ou résonateur (formé par exemple d'un rectangle extensible) on constate dans les mouvements ondulatoires émanant de l'onde primaire des longueurs d'ondes de plus en plus grandes à mesure qu'on agrandit le rectangle. Dans le cas des fils les limites de cette bande spectrale sont très étendues et difficilement déterminables, probablement parce que dans ce cas les mouvements ondulatoires secondaires qui accompagnent l'onde fondamentale du primaire ne sont que peu affaiblies avec la distance et restent nettement perceptibles à l'aide du résonateur qui leur correspond. Dans le cas de l'air les limites de cette résonance multiple sont beaucoup moins étendues et pour que la production des ondes stationnaires soit nette il faut que le primaire et le secondaire soient dans un rapport déterminé c'est à dire à l'unisson ou très près de cet unisson. Il ne paraît pas y avoir plusieurs maxima de ce genre, par conséquent pas d'harmoniques proprement dites.

D'après ce que vous me dites je comprends que vous n'avez pas reçu le mémoire détaillé que nous avons publié sur ce sujet M. de la Rive et moi.<sup>5</sup> Je croyais cependant vous l'avoir adressé ! Je prends donc la liberté de vous l'envoyer ainsi qu'une petite note mathématique publiée plus tard par M. de la Rive.<sup>6</sup>

Veuillez agréer Monsieur avec mes remerciements réitérés l'expression de ma considération la plus distinguée.

Ed. Sarasin

#### ALS 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée.

<sup>2</sup>Sarasin vient d'être nommé directeur des *Archives*, qu'il édite pendant un quart de siècle.

<sup>3</sup>Poincaré (1890a), article abrégé dans (1890b), suivi d'une remarque de L. de la Rive (1890a).

<sup>4</sup>Le problème soulevé est celui de la résonance multiple, qui a conduit à une controverse à propos des expériences de Hertz au début de l'année 1890. Voir à ce propos la lettre de Poincaré à Hertz du 08.10.1890 (§ 30.5).

<sup>5</sup>Sarasin et La Rive (1890b), dont la conclusion résume la conception des deux savants quant au phénomène au résonateur :

Dans le mouvement oscillatoire électrique qui émane d'un exciteateur hertzien, on peut révéler une onde d'une grandeur quelconque entre certaines limites. Le système ondulatoire produit par l'exciteateur doit par conséquent contenir toutes les longueurs d'onde possibles entre ces limites, chaque résonateur choisissant dans cet ensemble complexe, pour en montrer les ondes stationnaires, l'ondulation dont la période correspond à la sienne propre.

<sup>6</sup>La Rive (1890b), qui aborde le phénomène de la réflexion aux extrémités des fils utilisés dans les expériences de propagation des ondes, et le problème du résonateur.

## 52.2 Sarasin à Poincaré

Genève le 24 mars 1891

Monsieur,

J'ai lu avec le plus grand intérêt la partie de votre 2<sup>e</sup> volume *Électricité et optique* que vous consacrez à l'exposé des belles recherches de M. Hertz. J'ai été aussi très agréablement surpris de voir que vous aviez bien voulu accorder une petite place dans ce remarquable exposé au très modeste bagage de faits nouveaux que nous avons pu apporter M. de la Rive et moi dans l'étude de cet admirable sujet.<sup>1</sup> Cela est pour nous d'un prix inestimable de voir nos résultats et leur interprétation discutés avec une si grande autorité et par une plume si compétente. Aussi ai-je voué la plus grande attention au paragraphe (p. 250) dans lequel vous expliquez le phénomène que nous avons appelé la *résonance multiple*.

Malgré cela je dois dire je ne suis pas arrivé à faire cadrer cette interprétation avec les faits tels que nous les avons vus et observés. D'après elle les vibrations de l'excitateur seraient peu capables d'interférer or M. Hertz leur attribue très nettement cette faculté que nous admettons avec lui et les autres si elles se bornent à donner une impulsion au résonateur à la suite de laquelle celui-ci vibre pour son compte et séparément avec sa période propre. Comment se fait-il que les maxima et les minima du résonateur transporté dans le milieu diélectrique en avant de la surface réfléchissante ne correspondent pas aux maxima et aux minima de cette impulsion elle-même c'est à dire aux ventres et aux nœuds de l'onde fondamentale du primaire au lieu de traduire un système de concamérations distinct pour chaque résonateur.<sup>2</sup> Enfin ce système de concamérations, ces ondes stationnaires que traduit le résonateur, comment se produit-il? Si la vibration de la période propre au résonateur est enfermée en lui après que l'on produit l'impulsion qui lui vient du primaire elle ne va pas plus loin dans la direction du miroir; elle n'arrive pas jusqu'à lui et en revient encore moins pour former l'onde stationnaire. En un mot ne pensez vous pas que pour que cette onde stationnaire à la période propre du résonateur se produise, il faut que l'onde de cette période se trouve dans l'ensemble du mouvement ondulatoire qui se propage du primaire au miroir et en revient par réflexion, les concamérations ainsi produites préexistant à l'introduction du résonateur dans le milieu au sein duquel il les révèle. Si les oscillations propres au résonateur ne sont qu'à lui, comment peuvent elles produire des ondes stationnaires?

Je vous demande pardon Monsieur de vous importuner par ces questions que seule la bienveillance extrême avec laquelle vous avez apprécié nos résultats me pousse à vous adresser, convaincu que vous dissiperez facilement les obscurités que présentent pour moi ces quelques points de votre interprétation. En tout cas je vous prie d'excuser mon indiscretion.

Nous avons continué, répété et beaucoup varié les expériences dans l'air en l'absence du fil dont vous parlez à la page 246 et nous avons absolument confirmé sur une dizaine de cercles de grandeurs différents les premiers résultats que nous avons énoncés à la Société de Physique de Genève en mai dernier. J'enverrai au premier jour une note à M. Cornu sur ce sujet avec prière de la communiquer en notre nom à l'Académie.<sup>3</sup> Le détail de ces expériences paraîtra ensuite dans les *Archives des Sciences physiques et naturelles de*

Genève. Mon collaborateur et ami M. de la Rive est absent en ce moment-ci, et pour assez longtemps encore ; il me tarde de lui avoir lu votre exposé et vos vues critiques sur ces questions.

Si vous étiez maintenant ou plus tard désireux d'exposer plus amplement dans une note spéciale vos vues sur la résonance multiple nous serions bien heureux de vous offrir pour cela l'hospitalité dans les *Archives*.

En vous priant de nouveau Monsieur d'excuser mon importunité, je vous prie d'agréer avec l'expression de ma reconnaissance l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Ed. Sarasin

P.S. J'ai à me plaindre du prote qui a dirigé l'impression de votre bel ouvrage et qui donne 3 ou 4 orthographes différentes à mon nom.

E. S.

**ALS 7p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1890–1891, II, 146–147).

<sup>2</sup>Une concamération, selon Littré, est la courbure de chaque onde sonore qui, succédant aux premières ondes formées, devient de plus en plus grande puisqu'elle circonscrit les autres.

<sup>3</sup>Sarasin et La Rive (1891), note présentée à l'Académie des sciences par Cornu le 31.03.1891.

## 52.3 Sarasin à Poincaré

Genève, le 31 mars 1891

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

Monsieur et cher Collègue,

Je m'empresse de vous remercier bien sincèrement pour votre lettre du 27 mars. <sup>1</sup> L'exposé plus détaillé de votre hypothèse sur la résonance multiple m'a vivement intéressé quoique nous voyions M. de la Rive et moi la chose d'une manière assez différente de vous. <sup>2</sup>

Je viens du reste de lui transmettre le contenu de votre lettre et j'espère qu'après son retour nous pourrons faire ensemble quelques expériences pouvant jeter un peu de lumière entre ces diverses hypothèses. La vôtre me paraît s'écarter aussi énormément de celle de Hertz qui est bien loin d'admettre que l'ondulation du primaire ne puisse pas interférer. Évidemment la discussion reste ouverte et puisque vous voulez bien nous l'offrir j'accepte avec beaucoup de reconnaissance l'offre que vous voulez bien me faire d'un mémoire pour les *Archives* sur la théorie de la résonance multiple.

Ce pourrait être par ex. pour le numéro de mai des *Archives* si cela vous convenait. <sup>3</sup>

Veillez agréer Monsieur avec mes remerciements mes salutations les plus pressées.

Ed. Sarasin

**ALS 3p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>La lettre de Poincaré n'a pas été retrouvée.

<sup>2</sup>A propos de la position de Poincaré, voir sa lettre à Hertz du 08.10.1890 (§30.5).

<sup>3</sup>Poincaré (1891c).

## 52.4 Sarasin à Poincaré

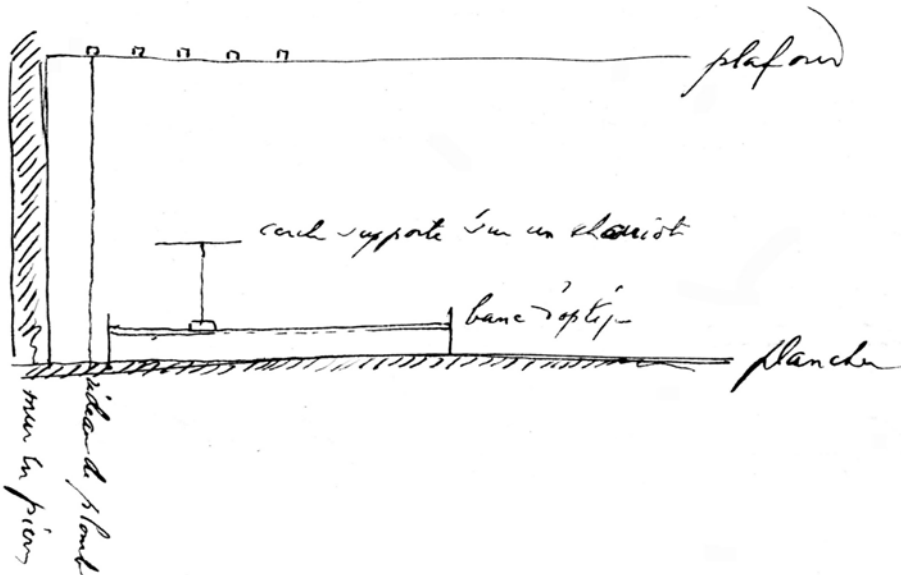
Rome le 11 avril 1891

Monsieur et très honoré Collègue,

Je reçois ici aujourd'hui seulement votre lettre du 3 avril et y réponds immédiatement.<sup>1</sup> Je vous fais toutes mes excuses d'avoir oublié dans ma dernière lettre de répondre à votre question relative à la nature et aux dimensions du miroir que nous avons employé dans nos expériences dans l'air sans fil. Cette surface réfléchissante était la même que celle mentionnée dans notre communication à la Société de physique de Genève en mai dernier et dont vous rendez compte dans votre traité.<sup>2</sup>

Elle consistait en une espèce de rideau de plomb formé de feuilles de plomb pour accumulateurs suspendu au plafond de la chambre, tendu par son propre poids et formant une paroi plane verticale de 2.<sup>m</sup> 80 sur 3<sup>m</sup>. Elle pendait à 50<sup>cm</sup> environ en avant de la paroi du fond de la chambre suspendue à une des poutres du plafond. Le cercle du secondaire supporté par un chariot et support en bois glissant le long du banc d'optique en bois décrit dans notre 1<sup>er</sup> mémoire était tantôt horizontal (plan de vibration) comme l'indique mon diagramme tantôt vertical parallèle au miroir (plan de l'onde).

Comme disposition il y a donc en effet une différence essentielle entre nous et M. Hertz puisque son miroir était dans une sorte de niche voire en retrait sur la paroi du fond de la chambre tandis que la nôtre était de 50 cm environ en avant de cette paroi. Nous n'avons jamais observé d'effet de la part de cette dernière et n'en avons tenu aucun compte.<sup>3</sup>



D'après ce que vous voulez bien m'écrire nous compterons sur votre mémoire théorique sur la résonance multiple pour le n° de juin ou de juillet des *Archives* et cela naturellement tout à votre convenance. Je vous remercie encore bien sincèrement de cette aimable promesse et vous prie d'agréer Monsieur et cher Collègue l'expression de ma considération la plus distinguée.

Ed. Sarasin

Je fais un court voyage en Italie et serai de retour à Genève le 20 avril.

E. S.

**ALS 6p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>La lettre de Poincaré nous manque.

<sup>2</sup>Sarasin et La Rive (1890c), Poincaré (1890–1891, II, 249–256).

<sup>3</sup>Voir la description du dispositif de Hertz dans les lettres (§30.14), (§ 30.6), et (§ 30.5).

## 52.5 Sarasin à Poincaré

Grand Saconnex<sup>1</sup> GENÈVE, LE 11 mai 1891

BIBLIOTHEQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

Monsieur et cher Collègue,

Je m'empresse de vous accuser réception de votre lettre et de votre article pour lesquels je vous adresse mes plus sincères remerciements. J'ai immédiatement donné votre mémoire à l'impression, vous en recevrez donc les épreuves dans peu de jours. Il pourra paraître ainsi et tête du numéro de juin des *Archives*.<sup>2</sup>

Veuillez indiquer sur l'épreuve le nombre de tirages à part que vous voudriez recevoir. Nous vous en donnerons volontiers 50 ou 100 si vous le désirez, ou plus encore.

Veuillez agréer Monsieur et cher Collègue avec mes remerciements réitérés l'expression de ma considération la plus distinguée.

Ed. Sarasin

**ALS 2p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Localité suisse située dans la banlieue nord de Genève.

<sup>2</sup>Poincaré (1891c).

## 52.6 Sarasin à Poincaré

GENÈVE LE 17 décembre 1892

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLES DE GENÈVE

Monsieur et très honoré Collègue,

Nous avons encore une fois recours à votre obligeance M. de la Rive et moi et venons vous demander si vous voudriez bien vous charger de communiquer à l'Académie des Sciences dans sa prochaine séance la petite note que je vous adresse ci-inclus.<sup>1</sup>

Nos premières recherches sur la vitesse de propagation des ondes électriques dans l'air nous ayant conduit à un résultat très différent de celui que M. Hertz avait cru devoir tirer de ses premières recherches sur la valeur relative de cette vitesse comparée à celle le long des fils, et cette divergence entre des résultats obtenus dans des conditions assez analogues ne s'expliquant pas, nous avons désiré reprendre cette expérience dans des conditions plus favorables pour les grandes longueurs d'ondes, accédant en cela au désir que M. Hertz avait exprimé lui-même dans une note insérée dans la *Lumière électrique* ou dans l'introduction à son ouvrage d'ensemble sur ce sujet.<sup>2</sup>

Après avoir eu assez longtemps le désir de réaliser nous mêmes cette expérience décisive à grand échelle nous avons fini par pouvoir y parvenir. Le résultat a été ce que nous attendions, conforme d'ailleurs à l'ensemble des idées de M. Hertz que nous confirmons en ceci bien plus que nous ne l'infirmos. C'est pourquoi nous avons tenu à ne pas insister dans notre note sur cette divergence entre ses résultats sur ce point spécial et les nôtres, tout le mérite en revenant à lui, donc nous n'avons fait que répéter l'expérience.

Il nous semble maintenant que l'égalité des deux vitesses est établie d'une manière irréfutable par les dernières expériences dont la netteté ne laisse rien à désirer pour les longueurs d'onde de 4<sup>m</sup> cercle de 0,50 d. et pour celles de 6<sup>m</sup>, cercle de 0,75 d. Quant au cercle de 1d dont nous ne parlons pas dans cette note il nous a encore donné avec le grand miroir de 16<sup>m</sup> des résultats anormaux. Il lui faudrait évidemment un miroir encore plus grand, mais nous ne jugeons pas utile de le suivre dans cette course au clocher.<sup>3</sup>

C'est d'ailleurs sur le cercle de 0,75 que portaient nos divergences avec M. Hertz. La preuve est suffisamment faite de la sorte qu'avec un miroir plus grand, ce cercle de 1<sup>m</sup> se soumettrait lui aussi à la loi commune et donnerait une courbe d'interférences régulières avec internœuds voisins de 4<sup>m</sup>.

La note que je vous envoie doit être à peu près de la longueur admise. Si le règlement exigeait qu'elle fût raccourcie, vous seriez bien aimable d'y faire les coupures que vous jugeriez convenables pour l'impression.

Je fais faire deux clichés des deux figures pour vous éviter la peine de les faire faire. Je les adresserai directement à vos imprimeurs, je pense dès lundi prochain, à temps par conséquent pour l'impression.

Je vous adresse en même temps que ces lignes trois photographies de notre installation. Nous vous prions de bien vouloir accepter pour vous même les deux petites et vous prions de bien vouloir faire hommage de la grande de notre part à l'Académie pour illustrer notre communication et faire comprendre ce qu'il y a peut-être d'incomplet ou d'obscur dans notre description.

Je vous prie Monsieur de bien vouloir excuser notre demande indiscreète. Nous avons pris cette liberté, sachant combien vous vous intéressez à ce sujet et vous prions M. de la Rive et moi d'agréer avec nos remerciements anticipés, l'expression de notre considération la plus distinguée.

Ed. Sarasin

Je vous serais bien obligé de vérifier à l'épreuve que nos noms ne soient pas estropiés par l'imprimeur.

**ALS 5p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Sarasin et La Rive (1892), note présentée par Poincaré le 19.12.1892, dans laquelle les auteurs affirme que la vitesse de propagation de l'ondulation électrique est la même dans l'air et le long de fils conducteurs.

<sup>2</sup>Hertz (1891a, 1892–1895).

<sup>3</sup>Dans une telle course on cherche à gagner à cheval le premier un clocher vu de loin, en franchissant haies et fossés, et en coupant à travers champs.

## 52.7 Poincaré à Sarasin (extrait)

[Ca. 09.1902]

Le mauvais temps m'a chassé de Suisse beaucoup plus tôt que je ne le pensais et, d'autre part, diverses affaires me rappelaient à Paris. Je n'ai pu, comme je l'avais espéré, me rendre au Congrès de Genève.<sup>1</sup> Veuillez m'excuser auprès de vos collègues et leur dire combien grands sont mes regrets. Et puis, vous l'avouerai-je, j'avais compté préparer une conférence aux Rasses, mais je ne m'y suis pas trouvé un seul moment dans l'état d'âme nécessaire pour cela. Mon état d'âme était plutôt contemplatif, comme il convient d'ailleurs en face de la nature.<sup>2</sup>

**PTrL. De la Rive (1917, 336–337).**

<sup>1</sup>La 85<sup>e</sup> réunion de la société helvétique des sciences naturelles, présidée par Édouard Sarasin, a eu lieu à Genève du 7 au 10 septembre 1902 (*Archives de Genève* 14 (1902) : 329).

<sup>2</sup>Les Rasses est un village du Jura suisse.

## Chapitre 53

# Ernest Solvay

Ernest Solvay (1838–1922), industriel et homme politique belge, met en œuvre un procédé nouveau pour la fabrication de la soude à l'échelle industrielle en 1861. Avec son frère Alfred Solvay il fonde la société Solvay pour l'exploitation de ce procédé. Il fait une carrière politique au sein du parti libéral, est élu sénateur de Bruxelles et, en 1918, ministre d'Etat. Il préside en 1914 le Comité national de secours et d'alimentation qui a un rôle de premier plan dans le ravitaillement de la population.

Il fonde les Instituts Solvay de Chimie, de Physique et de Sociologie, par l'intermédiaire desquels sont organisés les conseils Solvay qui ont marqué l'histoire de la physique. La préparation du premier conseil, qui a lieu entre le 29 octobre et le 4 novembre 1911, revient à Walther Nernst, très intéressé par les développements de la physique quantique et, en particulier, par les travaux de Planck sur les lois du rayonnement et ceux d'Einstein sur les chaleurs spécifiques. La composition de ce conseil révèle aussi le souci d'une répartition équilibrée entre les différents pays européens et entre les théoriciens et les expérimentateurs.<sup>1</sup>

Poincaré est impressionné par les travaux de la conférence, auxquels il participe activement. Le président du conseil, H.A. Lorentz, s'en souvient (1921) :

Dans les discussions Poincaré avait montré toute la vivacité et la pénétration de son esprit et on avait admiré la facilité avec laquelle il sut entrer dans les questions de Physique les plus ardues, même dans celles qui devaient être nouvelles pour lui.

Poincaré comble rapidement son manque d'expérience des problèmes de la théorie du rayonnement, et parvient en quatre semaines à démontrer que l'hypothèse des quanta est suffisante et nécessaire à la loi de Planck (1911e; 1912c). Un jeune physicien, Paul Ehrenfest arrive à cette conclusion en même temps que lui (§ 23).



## 53.1 Solvay à Poincaré

15 juin 1911

Ernest Solvay, Bruxelles, 43 Rue des Champs Élysées

Confidentiel<sup>a</sup>

*Invitation à un “Conseil scientifique international pour élucider quelques questions d’actualité des théories moléculaires et cinétiques.”*

Très honoré Monsieur,

Selon toutes apparences, nous nous trouvons en ce moment au milieu d’une évolution nouvelle des principes sur lesquels était basée la théorie classique moléculaire et cinétique de la matière.

D’une part cette théorie, en son développement raisonné, conduit à une formule de radiation dont la validité est en désaccord avec tous les résultats de l’expérience; d’autre part, de cette même théorie découlent des thèses au sujet de la chaleur spécifique (lois sur la chaleur spécifique des gaz polyatomiques vis à vis des variations de la température, validité de la règle de Dulong et Petit jusqu’aux températures les plus basses) qui sont également réfutées par de nombreuses mesures.

Ainsi que l’on démontré notamment MM. Planck et Einstein, ces contradictions disparaissent lorsqu’on oppose certaines limites au mouvement des électrons et des atomes en cas d’oscillations autour d’une position de repos (doctrine des degrés d’énergie); mais cette interprétation s’éloigne à son tour si considérablement des équations du mouvement des points matériels employés jusqu’ici, que son acceptation entraînerait nécessairement et incontestablement une vaste réforme de nos théories fondamentales actuelles.

Le soussigné, quoique étranger aux questions spéciales de ce genre, mais animé d’un sincère enthousiasme pour tous les problèmes dont l’étude élargit, en la développant, notre connaissance de la nature, a pensé qu’un échange de vues écrit et verbal entre des chercheurs s’occupant plus ou moins directement de ces questions, pourrait, sinon amener une décision définitive, du moins frayer la voie, par une critique préparatoire, à la solution de ces problèmes. Un grand pas dans la voie du développement de l’atomistique serait déjà fait si l’on pouvait établir clairement lesquelles de nos interprétations moléculaires et cinétiques sont d’accord avec les résultats de l’observation et lesquelles devront au contraire subir une transformation intégrale.

Dans ce but, le soussigné vous propose de participer à un “Conseil scientifique”, qui se tiendrait à Bruxelles, du dimanche 29 Octobre au samedi 4 Novembre 1911, en réunissant en Comité restreint quelques professeurs éminents. Ce Conseil serait composé comme suit :<sup>2</sup>

Président : M. Lorentz (Hollande);

Secrétaires : MM. R. Goldschmidt (Belgique), de Broglie (France);

Membres : MM. Jeans, Larmor, lord Rayleigh, Rutherford, Schuster, J.J. Thomson (Angleterre);

Nernst, Planck, Rubens, Sommerfeld, Warburg, W. Wien (Allemagne);

Brillouin, Mme Curie, Langevin, Perrin, H. Poincaré (France);

<sup>a</sup>Il s’agit d’une note marginale.

Einstein, Hasenöhr (Autriche) ;  
Kamerlingh Onnes, Van der Waals (Hollande) ;  
Knudsen (Danemark).<sup>3</sup>

Les sujets de conférence traités seraient les suivants :

1. Déduction de la formule de Rayleigh sur la radiation.
2. Comparaison de la théorie cinétique des gaz parfaits avec les résultats de l'expérience.
3. Application de la théorie cinétique aux émulsions.
4. La théorie cinétique de la chaleur spécifique d'après Clausius, Maxwell et Boltzmann.
5. La formule de radiation et la théorie des degrés d'énergie ("Quantenhypothese").
6. Chaleur spécifique et théorie des degrés.
7. Application de la théorie des degrés à une série de problèmes de nature physique.
8. Application de la théorie des degrés à une série de problèmes de nature physico-chimique et chimique.

Pour chacune de ces questions nous prions un membre particulièrement compétent de bien vouloir écrire un rapport préalable. Ces rapports, écrits en français, en allemand ou en anglais, seront imprimés et distribués aux divers membres, si possibles avant la fin de Septembre ; plus tard ils seront réunis en un volume, avec le compte-rendu des discussions qu'ils provoqueront.

N'étant pas homme de science spécialisée, je ne pourrai traiter des sujets ci-indiqués ; mais, ayant fait de longue date une étude générale de la gravité en vue d'en tirer des conséquences sur la constitution de la matière et de l'énergie, je me propose d'en communiquer un résumé à la séance d'ouverture du "Conseil", estimant que certains de ses travaux pourraient éventuellement en être influencés.<sup>4</sup>

Pour permettre à tous les invités de participer, j'offre à chacun d'eux une indemnité de 1000 francs pour frais de voyage.

Les demandes éventuelles et les réponses doivent être adressées à Monsieur le Prof. Dr W. Nernst, Am Karlsbad 26<sup>a</sup>, Berlin W. 35.

J'espère pouvoir compter sur votre collaboration et vous prie d'agréer, très honoré Monsieur, l'assurance de ma haute considération.

E. Solvay

#### **TLS 4p. Collection particulière, Paris.**

<sup>1</sup>Sur le premier conseil Solvay, voir Jungnickel et McCormmach (1986, II, 318–321), Barkan (1993) ; sur les conseils après 1911, voir Marage et Wallenborn (1995).

<sup>2</sup>Parmi ces invités, seuls Larmor, van der Waals et Lord Rayleigh n'assistèrent pas à la conférence, dont les actes furent publiés (Langevin et Broglie, 1912).

<sup>3</sup>H.A. Lorentz, Robert Goldschmidt, Maurice de Broglie, James Jeans, Joseph Larmor, J.W. Strutt (Lord Rayleigh), Ernest Rutherford, Arthur Schuster, J.J. Thomson, Walther Nernst, Max Planck, Heinrich Rubens, Arnold Sommerfeld, Emil Warburg, Wilhelm Wien, Marcel Brillouin, Marie Curie, Paul Langevin, Jean Perrin, Henri Poincaré, Albert Einstein, Fritz Hasenöhr, Heike Kamerlingh Onnes, J.D. Van der Waals. Larmor, Schuster, Strutt, et Van der Waals n'ont pas assisté au conseil, mais Édouard Herzen, Georges Hostelet, Martin

Knudsen et Frederick A. Lindemann sont venus (Fig. 53.1). Poincaré n'est pas sur la liste provisoire d'invités établie par Nernst un mois plus tôt; voir Barkan (1993, 74n35).

<sup>4</sup>Solvay (1912).



FIG. 53.1 – Le premier conseil Solvay (1911)

Debout, de gauche à droite : Robert Goldschmidt, Max Planck, Heinrich Rubens, Arnold Sommerfeld, Frederick A. Lindemann, Maurice de Broglie, Martin Knudsen, Fritz Hasenöhr, Georges Hostelet, Édouard Herzen, James Jeans, Ernest Rutherford, Heike Kammerlingh Onnes, Albert Einstein, Paul Langevin. Assis, de gauche à droite : Walther Nernst, Marcel Brillouin, Ernest Solvay, H.A. Lorentz, Emil Warburg, Wilhelm Wien, Jean Perrin, Marie Curie, Henri Poincaré.

Collection particulière, Paris.

## Chapitre 54

# Arnold Sommerfeld

Arnold Sommerfeld (1868–1951) fait ses études entre 1886 et 1891 à l’université de Königsberg, où il suit les cours de Adolf Hurwitz, David Hilbert, Ferdinand Lindemann, Emil Weichert, et Paul Volkmann. Il soutient sa thèse en physique mathématique en 1891, fait son service militaire en 1892, et devient l’assistant de Theodor Liebisch à l’Institut minéralogique de Göttingen en 1893. L’année suivante, Woldemar Voigt lui offre une place d’assistant à l’Institut de physique, mais Sommerfeld préfère être l’assistant de Félix Klein. Soutenu par Klein, Sommerfeld passe son habilitation en 1895 avec un traitement exact des problèmes de diffraction (1896), qui se sert de la méthode de Poincaré (1892–1893).<sup>1</sup> En 1897 il succède à Wilhelm Wien comme professeur de mathématiques à École des mines de Clausthal, et le succède encore en 1900 comme professeur de mécanique à la Technische Hochschule d’Aix-la-Chapelle. Avec le soutien de H.A. Lorentz, Sommerfeld devient professeur de physique théorique à l’université de Munich, où il produit des théoriciens de grand talent, dont P.P. Ewald, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, et Hans Bethe.<sup>2</sup>

La seule lettre retrouvée de la correspondance entre Poincaré et Sommerfeld concerne une erreur mathématique dans la thèse d’un étudiant américain, Herman W. March.<sup>3</sup>

En 1892, Poincaré (1892–1893), après s’être intéressé aux expériences de Georges Gouy dans son cours à la Sorbonne (1889–1892, II, 223–226), trouve une solution asymptotique au cas de la diffraction par un écran en forme de biseau. Comme le remarque Sommerfeld dans son mémoire d’habilitation (1896) sur la théorie mathématique de la diffraction, ce travail de Poincaré (tout comme son propre mémoire) se distingue des anciennes approches de A. Fresnel et de G. Kirchhoff, en ce qu’il abandonne la contrainte aux petites longueurs d’onde. Poincaré (1896–1897), pour sa part, trouve la méthode de Sommerfeld “extrêmement ingénieuse”, et y consacre une partie de son cours d’élasticité et optique en 1896.<sup>4</sup>

Lorsque Marconi démontre la possibilité de la communication intercontinentale par la télégraphie sans fil à la fin de 1901, un théoricien de l’université de Cambridge, H.M. Macdonald (1903) se propose d’expliquer cet exploit par le calcul, en cherchant une solution aux équations de Maxwell en coordonnées sphériques. Quatre mois plus tard,

Poincaré réagit (1903b), en critiquant une approximation faite par Macdonald, qui a pour conséquence l'absence d'ombre sur la surface de la terre.<sup>5</sup> La prochaine fois que Poincaré aborde ce sujet est dans une conférence sur l'application des équations intégrales aux ondes hertziennes, prononcée à Göttingen le 24.04.1909 à l'invitation de la Commission Wolfskehl. Il conclut alors, comme Macdonald en 1903, que la télégraphie sans fil intercontinentale est possible (1910d). Mais quelques temps après sa conférence, Poincaré se rend compte d'une erreur d'analyse, qui l'oblige à revoir sa conclusion : en effet, selon ses calculs, Marconi aurait fait l'impossible.<sup>6</sup> A la fin de l'année, le prix Nobel de physique est décerné à Guglielmo Marconi et Ferdinand Braun pour leurs contributions au développement de la télégraphie sans fil.

Sommerfeld suit ces développements avec attention ; il étudie le cas de la diffraction des ondes hertziennes sur un conducteur plan en utilisant une expansion intégrale avec des fonctions de Bessel d'ordre 0 (1909). Puis il conçoit d'un sujet de thèse pour son étudiant H.W. March, qui doit chercher une solution par son approche intégrale du cas d'un conducteur sphérique. Quand les résultats de March ne coïncident pas avec ceux de Poincaré, Sommerfeld cherche sans succès la source de la discorde, et décide de faire appel aux lumières de Poincaré. Celui-ci trouve que l'intégration de la fonction de Hankel est erronée, à cause d'une expansion asymptotique défectueuse. Poincaré présente son analyse à l'Académie des sciences le 25.03.1912, remarquant avec satisfaction la confirmation de son analyse par March, après correction de l'erreur de ce dernier.<sup>7</sup>

## Notes

<sup>1</sup>Poincaré (1896–1897) compare ses résultats avec ceux de Sommerfeld ; voir aussi (§62.19).

<sup>2</sup>Sur les débuts de "l'École de Sommerfeld", voir Eckert (1999), ainsi que la correspondance de Sommerfeld, publié par Eckert et Märker (2001–2004). A propos de la carrière de Sommerfeld, voir sa correspondance, le *DSB*, Benz (1975), et Eckert et al. (1984).

<sup>3</sup>Herman William March (1878–1953) est inscrit à l'université de Munich pendant quatre semestres, et soutient sa thèse (1911b) le 17.07.1911 (*Jahres-Verzeichnis der an den Deutschen Universitäten erscheinenden Schriften* 27, 1911, 651). Des extraits sont publiés l'année suivante (1911a; 1912). March rejoint alors le département de mathématiques à l'université de Wisconsin.

<sup>4</sup>Notes de Paul Langevin, fonds Langevin, boîte 123, bibliothèque de l'École supérieure de physique et de chimie industrielle.

<sup>5</sup>Une remarque semblable à celle de Poincaré est faite par J.W. Strutt (Yeang2003, 376).

<sup>6</sup>Voir la note rajoutée en français à la fin de la conférence (1910a, 31n). Ce résultat est confirmé par un autre mémoire publié aux *Rendiconti di Palermo* 1910e, ainsi qu'en (1910g). A propos des recherches de Poincaré sur la diffraction des ondes hertziennes, voir (Poincaré, 1916–1956, X, 217–219), et Yeang (2003). A propos des conférences Wolfskehl, voir l'échange entre David Hilbert et Poincaré dans Vol. 4 de la Correspondance.

<sup>7</sup>Poincaré (1912b) reconnaît également que les mesures récentes par Louis W. Austin ne s'accordent pas avec les prévisions de sa théorie, et par conséquent, "il y a quelque chose à trouver".

## 54.1 Poincaré à Sommerfeld

[Ca. 03.1912]

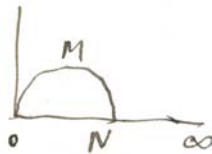
Mon cher Collègue,

J'ai examiné le mémoire de M. March que vous avez eu la bonté de m'envoyer. J'ai découvert l'origine de l'erreur de M. March.

A la page 39 de sa dissertation il envisage une certaine intégrale (94) que j'écrirai pour abrégé.

$$\Pi_1 = \int F(\alpha) d\alpha.$$

l'intégrale est prise le long du contour  $OMN\infty$ .<sup>1</sup>



Comme  $\rho$  est très grand, il remplace  $F(\alpha)$  par sa valeur approchée.

Soit  $\Phi(\alpha)$  cette valeur approchée, cela veut dire que l'on a :

$$F(\alpha) = \Phi(\alpha)(1 + \varepsilon)$$

$\varepsilon$  étant très petit de l'ordre de

$$\frac{1}{\rho}.$$

M. March obtient ainsi l'intégrale de la page 42, l'intégrale (100) que j'écris pour abrégé

$$\int \Phi(\alpha) d\alpha.$$

et qu'il regarde comme une bonne approximation de (94).

Pour que cette vue fût exacte, il faudrait que l'erreur commise :

$$\Delta = \int \varepsilon \Phi(\alpha) d\alpha$$

fût négligeable devant l'intégrale (100) elle-même. Or il n'en est pas ainsi. Cette intégrale (100) calculée page 43 à la formule (101) est de l'ordre de  $1/\rho$ .

Quel est l'ordre de la quantité sous le signe  $\int$

$$\varepsilon \Phi(\alpha) \quad ?$$

$\Phi(\alpha)$  contient en facteur  $\cos(\alpha\theta - \pi/4)$  lequel est de l'ordre de  $e^{\beta\theta}$ ,  $\beta$  étant la partie imaginaire de  $\alpha$ , laquelle peut atteindre  $\rho$ . Donc  $\varepsilon \Phi(\alpha)$  est très petit par rapport à  $\Phi(\alpha)$ ,

mais très grand par rapport à  $1/\varrho$ , c'est à dire par rapport à (100).<sup>a</sup> L'intégrale des valeurs absolues

$$\int |\varepsilon \Phi(\alpha) d\alpha|$$

serait de l'ordre de  $e^{\varrho\theta}/\varrho^3$  et c'est par suite de compensations que  $\Delta$  est seulement de l'ordre de  $1/\varrho$ , à peu près égale et de signe contraire à (100) de façon que la valeur exacte (94) soit très petite par rapport à la soi-disant valeur approchée (100).

Je profite de l'occasion pour me rappeler à votre bon souvenir.<sup>2</sup>

Votre bien dévoué Collègue,  
Poincaré

**ALS 3p. HS 1977–28A/266, Archiv, Deutsches Museum.**

<sup>1</sup>La figure ne paraît pas dans la note de Poincaré (1912b).

<sup>2</sup>Sommerfeld et Poincaré se sont vus lors du premier Conseil Solvay à Bruxelles, du 30.10 au 03.11.1911 (§ 53.1). Aucune réponse de Sommerfeld n'a été trouvée, mais dans une lettre à Wilhelm Wien, il reconnaît la valeur de l'argument mathématique de Poincaré (Sommerfeld à W. Wien, 29.11.1913, NL 56–010, Archiv, Deutsches Museum).

<sup>a</sup>Le manuscrit comporte un trou à la place du dénominateur, que nous rétablissons.

## Chapitre 55

# Peter Guthrie Tait

Peter Guthrie Tait (1831–1901) commence ses études universitaires en même temps que J.C. Maxwell à l’université d’Édimbourg en 1847. L’année suivante, il les continue à l’université de Cambridge, d’où il sort “senior wrangler” en 1852. Il devient professeur de mathématiques à Queen’s College Belfast, en 1854. Puis en 1860, il revient à Édimbourg, dans la chaire de philosophie naturelle. Il se lie d’amitié avec William Rowan Hamilton, la méthode des quaternions dont il adopte et applique en mécanique des fluides, en s’intéressant surtout aux recherches récentes de Helmholtz sur le mouvement vorticiel (*Wirbelbewegung*). En 1862, Tait et W. Thomson (§ 56) entament une polémique avec John Tyndall autour de la question de la priorité de découverte du principe de conservation de l’énergie ; Tait écrira une histoire de la thermodynamique 1868 qui soutient la priorité de James Joule. Encore avec Thomson, Tait rédige un texte canonique de la physique mathématique, le *Treatise on Natural Philosophy* (1867).<sup>1</sup>

Dans les années 1870, Tait entreprend des expériences sur le mouvement des anneaux de fumée, qui servent d’inspiration à la théorie des atomes vortex de W. Thomson ; il aborde aussi le problème de classification des nœuds. Dans les années 1880, il est le défenseur le plus ardent de la théorie des quaternions, en face des nouvelles méthodes vectorielles d’Oliver Heaviside et de J. Willard Gibbs (§ 25).<sup>2</sup>

L’échange entre Tait et Poincaré commence avec le compte rendu critique par Tait du traité de thermodynamique de Poincaré (§ 62.2), publié le 14 janvier 1982, et s’étend dans les pages de *Nature* jusqu’au 20 mai.

### Notes

<sup>1</sup>A propos de la polémique avec Tyndall, voir Smith et Wise (1989, 343–344).

<sup>2</sup>Epple (1998), Bork (1966), Jungnickel et McCormmach (1986, II, 377). Sur la vie de Tait voir le *DSB*, et Knott (1911).



## 55.1 Poincaré à *Nature*

[Ca. 24.02.1892]<sup>1</sup>

Permettez-moi de répondre en quelques mots à l'article que M. Tait a consacré à ma thermodynamique, non que je veuille prendre la défense de mon imprimeur, ou réfuter des reproches généraux, contre lesquels ma préface proteste suffisamment.<sup>2</sup>

J'abuserais ainsi de votre hospitalité et de la patience de vos lecteurs ; je me bornerai donc à discuter une seule des critiques de M. Tait, et je choisirai celle que ce savant paraît regarder comme la plus importante et qu'il a formulée avec le plus de précision. Je commence par en reproduire le texte :

“Even the elaborate thermo-electric experiments of Sir W. Thomson, Magnus, &c., are together ignored. What else can we gather from passages like the following?

‘... Si l'effet Thomson a pu être mis en évidence par l'expérience, on n'a pu jusqu'ici constater l'existence des forces électromotrices qui lui donnent naissance ...’.”

Rappelons d'abord que, dans l'étude des phénomènes électriques et thermiques qui se produisent au contact de deux métaux, il faut soigneusement distinguer trois choses :

1. le phénomène calorifique connu sous le nom d'effet Peltier. Dans le cas d'un métal unique mais inégalement chauffé, le phénomène correspondant s'appelle effet Thomson et se manifeste par un transport de chaleur.
2. La différence de potentiel vraie ou force électromotrice de contact.
3. La force électromotrice apparente ou différence de potentiel entre les couches d'air voisines de la surface de deux métaux.

L'effet Thomson a été mis en évidence par l'expérience. M. Tait croit qu'il en est de même de la différence de potentiel *vraie*.

Ou la phrase que j'ai citée plus haut n'a aucun sens, ou elle signifie qu'il me blâme d'avoir dit le contraire.

Or cette manière de voir ne soutient pas un instant d'examen. Nous n'avons aucun moyen de mesurer la différence de potentiel vraie.

Les méthodes électrostatiques ne nous font connaître que la différence de potentiel *apparente*; les méthodes électrodynamiques ne nous font connaître que la somme des forces électromotrices vraies dans un circuit *fermé*.

Enfin les méthodes indirectes, fondées sur l'écoulement ou sur les phénomènes électro-capillaires, ne sont pas applicables dans le cas qui nous occupe.

H. Poincaré

**PrTL. Poincaré (1892b), (1916–1956, X, 234–235).**

<sup>1</sup>Lettre à la rédaction de *Nature*, publiée le 03.03.1892.

<sup>2</sup>Il s'agit de la préface de Poincaré (1892i). Le compte-rendu de Tait (1892b) est réédité dans le présent volume (§ 55.7).

## 55.2 Tait à Nature

4/3/92<sup>1</sup>

I fear M. Poincaré has not read my review of his book with sufficient attention.<sup>2</sup> Otherwise he could hardly have written the letter printed in your last number.<sup>3</sup> The chief objections I made, taken in the *reverse* order of their importance, were

1. The work is far too much a mere display of mathematical skill. It soars above such trifles as historical details, while overlooking in great measure the experimental bases of the theory ; and it leaves absolutely unnoticed some of the most important branches of the subject.

(Thus for instance, Sadi Carnot gets far less than his due, Rankine is not alluded to, and neither Thermoelectric Motivity nor the Dissipation of Energy is even mentioned!)

2. It gives an altogether imperfect notion of the true foundation for the reckoning of absolute temperature.
3. It completely ignores the real (i.e. statistical) basis of the Second Law of Thermodynamics.

If these are what M. Poincaré alludes to as “reproches généraux, contre lesquels ma préface proteste suffisamment,” I can only express genuine amazement that a Preface should be capable of having such powers, and envy the man who is able to write one.

As to smaller matters: I did not attack M. Poincaré’s printer, I virtually said he was excusable under the circumstances. And as to the quite subsidiary question which M. Poincaré seems to think I regard as the most important, I have only to say that I could scarcely be expected to know that the words “on n’a pu jusqu’ici constater l’existence des forces électromotrices, &c.,” imply, as M. Poincaré now virtually interprets them, “One has not yet been able to *assign the origin of* the electromotive forces, &c.”

P. G. T.

**PrTL. Tait (1892c).**

<sup>1</sup>Published in *Nature* on 10.03.1892.

<sup>2</sup>For Tait’s review see (§ 62.2).

<sup>3</sup>For Poincaré’s letter see (§ 55.1).

## 55.3 Poincaré à Nature

[Ca. 17.03.1892]<sup>1</sup>

M. Tait ne répond pas à mon objection sous prétexte qu’elle est sans importance.<sup>2</sup> Je maintiens que nous n’avons aucun moyen non seulement d’assigner l’origine des forces électromotrices Thomson, mais encore d’en constater l’existence. Si M. Tait veut répondre, et s’il connaît ce moyen, qu’il l’indique. Dans le cas contraire, s’il n’est pas en mesure de

soutenir une quelconque de ses critiques, et s'il préfère un autre terrain de discussion, je suis prêt à l'y suivre.<sup>3</sup>

Seulement je serai forcé d'être un peu plus long, car il me faudra passer en revue les trois reproches de M. Tait.

(1) La forme de mon ouvrage est trop mathématique.

C'est là une appréciation personnelle dont il n'y a pas à disputer. Je veux bien d'ailleurs d'une polémique sur une question de doctrine, mais non d'un procès de tendance où je jouerais le rôle d'accusé.

Toutefois il est certain que je consacre relativement peu de place à la description des expériences, et on aurait le droit de s'en étonner si je n'en donnais l'explication. Mon livre est la reproduction textuelle de mon cours ; or mes auditeurs avaient tous suivi déjà un cours de physique expérimentale, où ces expériences leur étaient décrites en détail. Je n'avais donc qu'à leur en rappeler brièvement les résultats.

(2) J'ai mal parlé de la définition de la température absolue.

Autant que je puis comprendre, M. Tait ne trouve pas ma définition mauvaise, et n'en propose pas une autre ; mais, dit-il, j'aurais dû parler des expériences de Joule et Thomson, qui permettent de mesurer la température absolue.

Or j'ai décrit ces expériences à la page 164, et j'ai montré à la page 169 comment elles permettent de déterminer la température absolue.

(3) J'ai laissé complètement de côté une explication mécanique du principe de Clausius que M. Tait appelle "the true (i.e. statistical) basis of the second Law of Thermodynamics."

Je n'ai pas parlé de cette explication, qui me paraît d'ailleurs assez peu satisfaisante, parce que je désirais rester complètement en dehors de toutes les hypothèses moléculaires quelque ingénieuses qu'elles puissent être ; et en particulier j'ai passé sous silence la théorie cinétique des gaz.

H. Poincaré

**PrTL. Poincaré (1892c), (1916–1956, X, 236–237).**

<sup>1</sup>Lettre à la rédaction de *Nature*, publiée le 24.03.1892.

<sup>2</sup>Tait (1892c), réédité dans ce volume, § 55.2.

<sup>3</sup>Tait répondra à cette lettre, une fois par courrier à Poincaré le 20.05.1892 (voir §55.6), et une fois à *Nature* (§ 55.4).

## 55.4 Tait à *Nature*

26/3/92<sup>1</sup>

It is clear that I was justified in attributing the gist of M. Poincaré's first letter to his not having sufficiently read my notice of his book. He has not even yet fully apprehended the bearings of that notice, as a few words will show. Far from being unable to uphold any one of my critical remarks, as M. Poincaré is pleased to hint may be the case, I reassert every one of them, and could easily add to their number.

Let us begin with the particular item of my criticism which M. Poincaré persists in regarding as the most important. My words were: “in his assumed capacity (of pure analyst) he quite naturally looks with indifference, if not with absolute contempt, on the work of the lowly experimenter.” As an illustration of this I instanced M. Poincaré’s ignorance of the thermo-electric researches of Sir William Thomson, Magnus, &c. Then I quoted (in full) two of his remarks on the “Thomson effect”. In the first of these he used the very peculiar phrase

“Sir W. Thomson *admet* qu’il existe une force &c.”; and in the second he said “si l’effet Thomson a pu être mis en évidence par l’expérience, on n’a pu jusqu’ici *constater l’existence* des forces électromotrices qui lui donnent naissance.”

To these he has, in his recent letters, added other like statements. Now, as I understand the matter, Lord Kelvin *proved* (which, as I take it, means a good deal more than might be implied by “constater”) the existence of the electromotive force which depends on the so-called “Thomson effect” (giving also thereby the means of measuring its amount) by showing that the Peltier electromotive force does not in general fully account for the observed current in a thermo-electric circuit, and may even be directly opposed to it; while no other source of electromotive force can exist save the gradation of temperature in one or both of the metals. He then proceeded, by experiment, to measure the amount of the “Thomson effect” for unit current in various metals, unequally heated. When the passages above quoted from M. Poincaré’s work are compared with the facts just stated, my comments on them will be seen to be fully justified.

It is necessary to add that I made *no reference whatever* to M. Poincaré’s distinctions between “true” and “apparent” electromotive force: simply because I regard these, along with many other celebrated terms such as “disgregation” &c, as mere empty names employed to conceal our present ignorance.

As to the three chief objections I made to the work of M. Poincaré, every one (author, critic, or onlooker) is entitled to form and express his opinion. I need not restate mine, though I continue to adhere to every word of it: but I may take the following additional remarks on these objections severally.

1. What sort of title to completeness can be claimed for a Treatise, on Thermodynamics, in which no mention is made of the grand principle of Dissipation of Energy; nor of Thermodynamic Motivity, “that possession the waste of which is called Dissipation”?
2. With regard to the measurement of Absolute Temperature, what I *did* say was that the experiments of Joule and Thomson, which justified them in basing it on Carnot’s Function, were not mentioned by M. Poincaré *in this connection*. The omission by M. Poincaré of the italicized words makes an absolutely vital change in the meaning of my statement; and enables him to make what, (at first sight only), appears to be an answer to it.
3. As regards the foundation of the Second Law, it is unfortunately clear that M. Poincaré and I must continue to differ: so that further discussion of this point would be unprofitable. For I presume that M. Poincaré has not formed his opinion without

careful study of all that Clerk-Maxwell said on the point: so that even a perusal of Lord Kelvin's latest paper (*Fortnightly Review*, March 1892) is not likely to induce him to change it.<sup>2</sup>

P. G. T.

**PrTL. Tait (1892d).**

<sup>1</sup>Tait's letter to *Nature* was published on 01.04.1892.

<sup>2</sup>Thomson (1892).

## 55.5 Poincaré à *Nature*

[Ca. 05.1892]<sup>1</sup>

Rentrant à Paris après une assez longue absence, je prend seulement connaissance de la dernière lettre de M. Tait. Je ne veux pas continuer une discussion qui ne saurait se prolonger sans dégénérer en une simple logomachie. Il résulte en effet des débats que M. Tait n'attribue pas le même sens que moi à certaines expressions, et en particulier au mot force électromotrice. Il me semble seulement, puisque c'était mon livre qu'il critiquait, que c'était à lui d'adopter mon langage, qui est d'ailleurs celui de tout le monde. Je m'arrêterai donc là, quoiqu'il arrive.<sup>2</sup>

Je suis pourtant obligé d'insister sur un point, parce que je ne veux pas laisser suspecter ma bonne foi. M. Tait a écrit "Nothing is said, in this connection, about Joule's experiments." En ne tenant pas compte de ces mots "in this connection," j'aurais dénaturé sa pensée. Ces mots ne m'avaient pas échappé. Ils signifient, si je ne me trompe : "dans ses rapports avec la détermination de la température absolue." Et c'est pourquoi, après avoir rappelé que j'avais décrit ces expériences à la page 164, j'ai ajouté que j'avais expliqué à la page 169 comment elles permettent de déterminer la température absolue.

Poincaré

**PrTL. Poincaré (1892c) ; (1916–1956, X, 236–237).**

<sup>1</sup>Lettre à la rédaction de *Nature*, publiée le 26.05.1892.

<sup>2</sup>Il s'agit bien de la dernière lettre de Poincaré qui sera publiée à propos de la critique de Tait, dont la dernière lettre est publiée en même temps que celle-ci (§55.7). Tait envoie également une lettre à Poincaré (§55.6).

## 55.6 Tait à Poincaré

20 /5 /[18]92

58 GEORGE SQUARE – EDINBURGH

Sir,

Mr. Lockyer forwarded your note to me, and today he had sent me (in proof) your letter to *Nature*.<sup>1</sup>

It never entered my head to doubt your good faith. What I did doubt was my having made my meaning clear to you. For it appears to me that the main points on which we differ are

connected with the validity of certain modes of reasoning from experimental facts, and not with the mere terms in which these facts are stated.

I have sent a few lines, to this effect, to Mr. Lockyer.<sup>2</sup>

And I have directed my publishers to send you a copy of a little book of mine, from which you may (at your leisure) see fully the views I have expressed on Thermo-electricity [Chap. XI, and §414], and on the Second Law of Thermodynamics [§§57, 82, 95, 125, & 439]. Also on Thermodynamic Motivity [§§407, sq.].<sup>3</sup>

Yours sincerely,

P.G. Tait

**ALS 2p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1892b), published 26.05.1892. Sir Norman Lockyer (1836–1920) is an astronomer, and founder and editor of *Nature*. His correspondence with Poincaré is annotated in vol. 3.

<sup>2</sup>Tait (1892d), reedited in this volume (§ 55.7).

<sup>3</sup>Tait (1892a). The brackets are Tait's.

## 55.7 Tait à *Nature*

[Ca. 20.05.1892]<sup>1</sup>

I need scarcely say that I never dreamt of doubting the good faith of M. Poincaré. What I did (and still do) doubt is my having made my meaning clear to him. For I cannot see how such a discussion could degenerate into a mere war of words. So far as I understand myself, I have been dealing mainly with the validity of certain modes of establishing physical laws, *not* with the mere terms employed in describing the experimental facts on which they are founded.

P. G. T.

**PrTL. Tait (1892e), Poincaré (1916–1956, X, 238–239).**

<sup>1</sup>Published in *Nature* on 26.05.1892, following Poincaré's letter to the editor (§ 55.3). Tait refers to the present letter by note to Poincaré of 20.05.1892 (§ 55.6).

## Chapter 56

# William Thomson (Lord Kelvin)

William Thomson (1824–1907) est le fils d'un professeur de mathématiques à l'université de Glasgow, James Thomson. William fait des études avec son frère James à partir de 1834 à l'université de Glasgow. Il devient familier des travaux français de mécanique analytique (Lagrange, Laplace, Fourier), et continue ses études en 1841 à l'université de Cambridge, d'où il sort *second wrangler* en 1845. Pendant un séjour à Paris dans le laboratoire de Victor Regnault, il fait la connaissance de Liouville, Cauchy, Sturm, Biot, et Dumas. Il obtient la chaire de philosophie naturelle à l'université de Glasgow en 1846, où il crée le premier laboratoire d'enseignement de physique en Grande-Bretagne. De 1890 à 1895 il est président de la *Royal Society* de Londres.

Thomson contribue à la mécanique céleste, l'électricité et le magnétisme, et la thermodynamique. Lorsque Faraday découvre la rotation du plan de polarisation de la lumière dans les corps transparents par l'action magnétique en 1845, Thomson répond en 1856 avec un modèle d'un éther solide élastique, dans lequel un courant galvanique donne lieu à une hélice dont l'axe coïncide avec celui du courant. Ce modèle, qui devait expliquer l'ensemble des effets électromagnétiques, sert d'inspiration à J.C. Maxwell dans ses recherches d'une nouvelle théorie de l'électromagnétisme. Malgré cette influence, Thomson n'est pas convaincu par la théorie de Maxwell, et suite aux recherches de Helmholtz sur les tourbillons, il conçoit d'un programme de réduction des phénomènes physiques à l'interaction des atomes-tourbillons dans un fluide universel incompressible.<sup>1</sup>

Avec son ami P.G. Tait (§ 55), Thomson écrit un des traités de physique les plus influents du XIX<sup>e</sup> siècle, le *Treatise on Natural Philosophy* (1867). Il élabore également des d'appareillages nouveaux, dont un galvanomètre suffisamment sensible pour détecter les courants électriques transmis par des câbles de grande longueur. Suite au succès de la pose du câble transatlantique de liaison télégraphique en 1866, Thomson est anobli; il devient Lord Kelvin, Baron of Largs.

Pendant le dernier trimestre de 1891, Thomson publie trois articles sur les conditions de stabilité des mouvements périodiques (1891d; 1891c; 1891b), et prend connaissance du mémoire de Poincaré sur le problème des trois corps (1890c). L'année suivante, il revient (§ 56.5) sur sa critique (1867, I, 381) des travaux de Lagrange et de Laplace

à propos de l'analyse des petites oscillations autour d'une position d'équilibre, critique qu'il adresse également au travail de Poincaré. C'est l'occasion pour ce dernier de préciser son approche des conditions de stabilité des solutions périodiques au moyen de l'analyse de la nature des exposants caractéristiques (1892–99, I, chap. 4).

L'intérêt de Thomson et Poincaré pour les questions de mécanique céleste est également manifeste dans un échange de 1901 (§ 56.16) à propos de l'évaluation de la précession et de la nutation de l'axe de la terre. Thomson aborde cette question à travers un modèle du globe terrestre en tant que sphère fluide entourée d'une croûte solide. S'appuyant sur la thermodynamique, il tente aussi dès 1862 d'évaluer l'âge de la terre (Smith et Wise, 1989, chap. 17).<sup>2</sup>

### Notes

<sup>1</sup>Sur la théorie des tourbillons, voir Poincaré (1893c) et (1899a, 348).

<sup>2</sup>Sur la vie de W. Thomson voir la notice de Poincaré (1908d), S.P. Thompson (1910), le *DSB*, et surtout, Smith et Wise (1989).

## 56.1 Thomson à Poincaré

19<sup>th</sup> Jany '89

THE UNIVERSITY, GLASGOW

Dear Mr. Poincaré,

I was glad a fortnight ago to receive your New Year card, and had kept it as a reminder to send my own in return, when yesterday I received your beautiful volume "*Théorie Mathématique de la Lumière*."<sup>1</sup> It contains a great deal of most interesting reading for me, and I thank you very much for your kindness in sending it to me. With all good wishes to you for the New Year.

I remain, yours very truly,

William Thomson

**ALS 2p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1889–1892). Poincaré's card has not been located.

## 56.2 Poincaré à Thomson

[02.11.1891]<sup>1</sup>

Monsieur,

Je vous remercie beaucoup de votre dernier envoi ; je compte profiter grandement de la lecture de ces intéressantes brochures que je n'ai fait encore que parcourir.<sup>2</sup>

Votre paquet contenait sans doute par erreur une épreuve d'imprimerie que je m'empresse de vous retourner ci-joint.<sup>3</sup>

Veillez agréer, Monsieur, l'assurance de ma respectueuse considération.



Poincaré

**ALS 1p. Add7342, P84, Cambridge University Library.**

<sup>1</sup>Le cachet de la poste, Bureau Claude-Bernard (voir l'enveloppe, P85) porte la date du "2 Nov 1891", alors que sur le verso figure le cachet "Glasgow 159 25 W NO 3 91". Le recto du manuscrit porte la date "Paris, le 26 Juillet 1891"; Poincaré a vraisemblablement commencé une lettre à "Monsieur le Recteur," puis l'a abandonnée.

<sup>2</sup>Parmi ces brochures, il devait y avoir "On periodic motion of a finite conservative system," paru au mois d'octobre (Thomson, 1891d).

<sup>3</sup>Thomson voulait que Poincaré garde l'épreuve (§ 56.3).

## 56.3 Thomson à Poincaré

Nov. 7/91

THE UNIVERSITY, GLASGOW

Dear Mr. Poincaré,

I am sorry you had the trouble of returning the little proof. I ought to have written at the top of it "need not be returned", as I have now done! But I only send it to you again in writing to thank you for kindly returning it to me when you naturally thought it had been enclosed by mistake with the other papers. It appeared in the *Philosophical Magazine* at the beginning of this month.<sup>1</sup>

The December number will contain a continuation of my paper on Periodic Motion, to which will be appended a short (too short) reference to your great work on the subject, which only came to my knowledge last week in Cambridge where Mr. Cayley lent me the volume of the *Acta* formed by your paper. I have been much interested in it so far as I have yet been able to look through it.<sup>2</sup>

Believe me, yours very truly,

William Thomson

**ALS 1p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>According to Poincaré's letter (§ 56.2), the proof in question is a printer's proof, corresponding to Thomson's demonstration of a theorem in point dynamics, or what Thomson calls "kinetic trigonometry" (1891a).

<sup>2</sup>Thomson published a postscript (1891c) to his earlier paper on periodic motion of a finite conservative system (1891d). As Barrow-Green (1997, 148) observes, Thomson finds Poincaré's conjecture on the denseness of periodic solutions to be less general than a similar statement made by Maxwell, but notes that his own investigation of the instability of periodic motion concurs with that of Poincaré (1890c), and comments: "M. Poincaré's investigation and mine are as different as two investigations of the same subject could well be, and it is very satisfactory to find perfect agreement in conclusions." On Poincaré's paper and its several consequences see the correspondence with Mittag-Leffler (Poincaré, 1999, §§ 89,90), the overview by Nabonnand (1999), and detailed studies by Barrow-Green (1994) and Andersson (1994).

## 56.4 Poincaré à Thomson

Paris, le 4 avril 1892

Monsieur,

J'arrive bien en retard pour vous féliciter de votre nouvelle dignité, mais veuillez croire que mes félicitations n'en sont pas moins bien sincères.

Je vous demande bien pardon d'avoir tant tardé à répondre à la carte par laquelle vous me faisiez l'honneur de m'annoncer votre promotion à la pairie.<sup>1</sup> Mais je vous avouerai que le sens m'en avait d'abord échappé et ce n'est que ce matin qu'une illumination subite me l'a fait comprendre.

Veuillez agréer, Monsieur, avec mes excuses, l'assurance de mon respectueux dévouement,

Poincaré

ALS 2p. Add7342, Cambridge University Library.

<sup>1</sup>William Thomson a été élevé à la pairie en janvier 1892 sous le titre de Lord Kelvin of Largs.

## 56.5 Thomson à Poincaré

December 23 1892<sup>1</sup>

THE UNIVERSITY, GLASGOW

Dear Mr. Poincaré,

I don't know whether you have ever chanced to see a statement in Thomson and Tait's *Natural Philosophy* § 343 (m), (Vol. 1, Pt. 1, pp. 381–2) in which I pointed out a remarkable error into which both Lagrange and Laplace had fallen, regarding equal roots of the determinantal equation for the problem of infinitely small oscillations about a position of equilibrium.<sup>2</sup> I find quite a corresponding idea in §10 p. 101 of your great paper "Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique".<sup>3</sup> That it is an error I think you will see by considering the simple case of a ray of light passing along the axis of a periodic arrangement of lenses. For the very simplest case consider an infinite number of convex lenses placed perpendicularly to a straight line with their centres at equal distances along it. It is easy (and very interesting, though very simple) to find the conditions of stability for a ray diverting infinitesimally from this straight line. But now what I want to ask you to think of is the corresponding problem when each lens has different vergencies for rays incident upon it in different planes through its axis as, for example, if each lens is bounded by a spherical surface on one side and a cylindrical surface on the other. Your general equations would give the full condition of stability for a ray infinitely near the axis in this case. But according to your statement in § 10 the equilibrium would be essentially unstable when the two principal vergencies are equal, that is to say, in the well known case of ordinary lenses, whereas you will see in a moment that for example for the case of convex lenses there is stability for a ray infinitely near the axis if the distance from lens to lens be less than  $\frac{1}{4}$  the focal length.<sup>4</sup>

I hope you will kindly excuse my writing to you to point out what seems to be a mistake in a work for which we have admiration quite comparable with the admiration we have for the greatest works of Lagrange and Laplace.

Wishing you all the best wishes of this season. I remain, dear Mr. Poincaré, yours very truly,

Kelvin

#### ALS 1p. Private collection, Paris.

<sup>1</sup>Only the final lines are in Thomson's hand.

<sup>2</sup>Thomson and Tait study a system in motion where the "positional forces" are proportional to displacements and the "motional forces" are proportional to velocities (1879, I, 370). They write the equation of motion, the general solution of which is the sum of special solutions of the form (updating the notation):

$$\Psi_1 = a_1 e^{\lambda t}, \Psi_2 = a_2 e^{\lambda t}.$$

The roots  $\lambda$  are found by introducing the latter sum in the equation of motion. For the case of small oscillations, Thomson and Tait characterize the error of Lagrange et Laplace, both of whom "fell into the error of supposing that equality among roots necessarily implies terms in the solution of the form  $t e^{\lambda t}$  (or  $t \cos \rho t$ ), and therefore that for stability the roots must be all unequal." The authors were apparently unaware that Weierstrass had pointed out this error in 1858.

<sup>3</sup>Poincaré (1890c). Poincaré defines "exposants caractéristiques"  $\alpha$ , where the stability coefficients  $\alpha^2$  are analogous to Thomson and Tait's roots  $\lambda$ . He concludes as follows: "Si donc tous les coefficients ne sont pas réels, distincts, il n'y a pas en général de stabilité temporaire." See also (§56.7).

<sup>4</sup>As Thomson observes in his follow-up letter (§ 56.6), this should read: "the distance from lens to lens be less than four times the focal length."

## 56.6 Thomson à Poincaré

In train to London Dec. 23/92

Dear Mr. Poincaré,

In writing to you this forenoon before I left Glasgow, I inadvertently said "a quarter of . . ." instead of "four times the focal length".<sup>1</sup> Will you make the correction and kindly excuse my troubling you with it. Here is the whole affair of the periodic lense problem. Let  $a$  be the distance from lense to lense,  $f$  the focal length of each lense:  $y_i$  the distance from the axis, and  $\theta_i$  the inclination to the axis of the ray at mid-distance between two lenses, after it has crossed  $i$  lenses. We have

$$y_i = \left(1 - \frac{a}{2f}\right)y_{i-1} + a\left(1 - \frac{a}{4f}\right)\theta_{i-1}$$

$$\theta_i = -\frac{1}{f}y_{i-1} + \left(1 - \frac{a}{2f}\right)\theta_{i-1};$$

Whence

$$y_{i+1} - 2\left(1 - \frac{a}{2f}\right)y_i + y_{i-1} = 0;$$

which shows that when  $a$  is between 0 and  $4f$  the inclined ray keeps always infinitely near to the axis.<sup>2</sup> Hence motion along the axis (in the corresponding kinetic problem) is stable. The inclination increases indefinitely if  $f$  is negative, or if  $f > \frac{1}{4}a$ .

For one lense we may of course substitute a group of lenses, according to well known principles.

Yours very truly,

Kelvin

**ALS 3p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>See Thomson to Poincaré, 23.12.1892 (§ 56.5).

<sup>2</sup>In the limiting case of  $a = 4f$ , we have

$$y_{i+1} = -y_i = y_{i-1},$$

such that the light ray's incidence angle is conserved in the lens system.

## 56.7 Poincaré à Thomson

Paris, le 26 Décembre 1892<sup>a</sup>

Mylord,

J'avais bien remarqué dans le traité de "Thomson et Tait" le passage dont vous me parlez ; j'en avais eu l'occasion au moment où je m'occupais des formes d'équilibre d'une masse fluide en rotation.<sup>1</sup>

Mais ici je crois que le cas n'est pas tout à fait le même, du moins en général. Soit

$$F(\alpha) = 0$$

l'équation aux exposants caractéristiques. Les racines sont deux à deux égales et de signe contraire.

Qu'arrive-t-il quand deux de ces racines deviennent égales ?

Pour nous en rendre compte, soit  $\beta$  un paramètre que nous allons faire varier de telle façon que l'équation puisse s'écrire

$$F(\alpha, \beta) = 0.$$

Faisons varier  $\beta$  d'une manière continue et supposons que pour  $\beta = \beta_0$  deux des valeurs de  $\alpha$  deviennent égales.

Plusieurs cas peuvent se présenter :<sup>2</sup>

1<sup>o</sup> pour  $\beta < \beta_0$ ,  $\alpha'$  et  $-\alpha'$  sont de la forme  $\alpha''\sqrt{-1}$  de telle sorte que leur carré soit réel négatif ; stabilité

pour  $\beta > \beta_0$ ,  $\alpha'$  et  $-\alpha'$  sont réels ; instabilité

pour  $\beta = \beta_0$ ,  $\alpha' = -\alpha' = 0$  ; je crois que dans ce cas il y a en général instabilité.

2<sup>o</sup> cas ; pour  $\beta < \beta_0$ ,  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $-\alpha'$ ,  $-\alpha''$  sont purement imaginaires (et leur carré réel négatif) stabilité ; il en est encore de même pour  $\beta > \beta_0$ , stabilité.

Mais pour  $\beta = \beta_0$ ,  $\alpha' = \alpha''$ ,  $-\alpha' = -\alpha''$ , dans ce cas il y a encore stabilité même pour  $\beta = \beta_0$  ; c'est à ce cas que se rapporte la remarque à laquelle vous faites allusion.

<sup>a</sup>Lettre adressée à Lord Kelvin, Université de Glasgow et réexpédiée à l'adresse suivante : Cliff House, Mont Road, Eastbourne.

3<sup>o</sup> cas ; pour  $\beta < \beta_0$ ,  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $-\alpha'$ ,  $-\alpha''$  sont purement imaginaires (et leur carré réel négatif) stabilité ; pour  $\beta > \beta_0$ ,  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $-\alpha'$ ,  $-\alpha''$  sont complexes et imaginaires conjugués deux à deux (et leur carré imaginaire) instabilité.

Pour  $\beta = \beta_0$ ,  $\alpha' = \alpha''$ ,  $-\alpha' = -\alpha''$  ; dans ce cas je crois qu'il y a instabilité pour  $\beta = \beta_0$ .

Dans les théorèmes de statique et dans un grand nombre de problèmes de mécanique, les valeurs de  $\alpha^2$  sont essentiellement réelles et le 3<sup>o</sup> cas ne peut jamais se présenter.

Mais je crois qu'il n'en est pas toujours ainsi, il peut arriver que les  $\alpha^2$  deviennent imaginaires ; et la remarque du *traité de Philosophie Naturelle* ne s'applique plus.<sup>3</sup>

Je serais heureux si vous vouliez bien examiner la question et me dire si vous partagez mon sentiment.

Veuillez agréer, Mylord, l'hommage de ma respectueuse admiration pour votre talent, Poincaré

#### ALS 4p. Add7342, Cambridge University Library.

<sup>1</sup>Thomson et Tait (1879). Poincaré répond ici à la lettre de Thomson du 23.12.1892 (§ 56.5). L'article en question de Poincaré (1885) est discuté également par G.H. Darwin (correspondance, vol. 3).

<sup>2</sup>Poincaré (1890c) introduit les exposants caractéristiques  $\alpha$  de la manière suivante : soit l'équation différentielle  $\frac{dx_i}{dt} = X_i$  où  $x_i$  est la variable et  $X_i$  une fonction des  $x_i$  et de  $t$ . Soit une solution périodique  $x_i = \phi_i(t)$ , si on forme l'équation aux variations de l'équation différentielle en posant

$$x_i = \phi_i(t) + \xi_i,$$

on peut alors écrire

$$\frac{d\xi_i}{dt} = \frac{dX_i}{dx_1}\xi_1 + \frac{dX_i}{dx_2}\xi_2 + \dots + \frac{dX_i}{dx_n}\xi_n,$$

et les solutions particulières seront :

$$\xi_1 = e^{\alpha_1 t} S_{11}, \quad \xi_2 = e^{\alpha_1 t} S_{21}, \quad \dots \xi_n = e^{\alpha_1 t} S_{n1}$$

$$\xi_1 = e^{\alpha_2 t} S_{12}, \quad \xi_2 = e^{\alpha_2 t} S_{22}, \quad \dots$$

...

$$\xi_1 = e^{\alpha_n t} S_{1n}, \quad \dots$$

Le caractère périodique est lié à l'existence d'exposants caractéristiques  $\alpha$  complexes. Poincaré montre en outre que si les coefficients de stabilité  $\alpha^2$  sont distincts, réels et négatifs, ces solutions sont stables. Si, dans son mémoire, Poincaré affirme que dans les autres cas "il n'y a pas en général de stabilité temporaire", il est moins affirmatif.

<sup>3</sup>Thomson et Tait (1879, I, 381).

## 56.8 Thomson à Poincaré

January 9, 1893<sup>b</sup>

THE UNIVERSITY, GLASGOW

Dear Mr. Poincaré,

Your letter of the 26<sup>th</sup> followed me to England where I have been passing the holidays. I am sorry thus to have been prevented from writing to you sooner in answer.

I agree with you substantially in respect to the three cases which you describe, and which in reality comprehend the whole subject in question; except in a not unimportant addition

<sup>b</sup>This letter was penned by a copyist.

to your case N° 1. The cases of instability are not found only for  $\alpha^2 = 0$ . They occur also when  $\alpha^2 = -\frac{1}{4}$ ; and all the cases of stability are included between  $\alpha^2 = 0$  and  $\alpha^2 = -\frac{1}{4}$ . No extension in respect to generality is obtained by considering negative values of  $\alpha^2$  beyond  $-\frac{1}{4}$ .

The case  $\alpha^2 = -\frac{1}{4}$  makes  $\lambda = -1$ , (according to your notation § 10 on p. 100). All the cases of stability correspond to values of  $\alpha^2$  between 0 and  $-\frac{1}{4}$ , or to values of  $\lambda$  corresponding to real values of  $k$  from 0 to  $\frac{1}{2}$  in the formula,

$$\lambda = \cos(2\pi k) \pm i \sin(2\pi k).$$

All the cases of instability belonging to your cases 1 and 2 correspond to real values of  $\lambda$  or  $\frac{1}{\lambda}$  from  $-\infty$  to  $-1$  and from  $+1$  to  $+\infty$ .

There are also the cases of instability belonging to case 3 of your letter. These correspond to pairs of cases in which  $\lambda$  or  $\frac{1}{\lambda}$  is equal to

$$p \{ \cos(2\pi k) \pm i \sin(2\pi k) \},$$

where  $p$  denotes any real positive numeric and  $k$  may have any value from 0 to  $\frac{1}{2}$ .<sup>1</sup>

The consideration of all these cases is facilitated by putting  $\lambda + 1/\lambda = 2e$ , as I have done in a short paper, "Instability of Periodic Motion", of which I send you a copy by book-post.<sup>2</sup> Thus we have an algebraic equation for  $e$  of degree  $n$ , instead of  $\lambda$  of degree  $2n$ .

All cases of stability correspond to real values of  $e$  between  $-1$  and  $+1$ . The case of instability belonging to your cases 1 and 2 corresponds to values of  $e$  from  $+1$  to  $\infty$ ; and with the extension I have indicated, to values of  $e$  from  $-\infty$  to  $-1$ . All the cases of instability belonging to your case 3 correspond to complex values of  $e$ .

Particular cases of equalities among roots depending on annulment of  $Q$  in the expression  $e = P + iQ^*$  belong to the special limiting case of instability described in your case 3 (when  $P$  is between  $-1$  and  $+1$ ), but the algebraic equation for  $e$  may be, and generally is, such that equal roots not bordering on imaginary roots can occur. This class of equal roots does not involve any tendency to instability or any seeming indeterminateness in the assignment of all the constants required for a complete solution.

Yours very truly,

Kelvin

\*  $P$  and  $Q$  being any real numerics.

**ALS 4p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>The term *numeric* is a neologism signifying any numerical expression. It was introduced by James Thomson, as noted by his brother William (1879, I, 389).

<sup>2</sup>Thomson (1891b).

## 56.9 Poincaré à Thomson

[13.01.1893]<sup>c</sup>

Mylord,

Vous avez évidemment raison en ce qui concerne le cas de  $\alpha^2 = -\frac{1}{4}$ .<sup>1</sup>

Je crois que les racines peuvent être complexes dans le cas général, mais je n'en ai pas formé d'exemple.

Veuillez agréer, Mylord, l'assurance de ma respectueuse considération,  
Poincaré

**ALS 2p. Cambridge University Library, Add7342.**

<sup>1</sup>Voir Thomson à Poincaré, 09.01.1893 (§ 56.8).

## 56.10 Poincaré à Thomson

Lozère, 28 mai 1894

Monsieur le Président,<sup>1</sup>

Je suis touché, en même temps que confus du grand honneur que la Société Royale m'a fait en m'admettant parmi ses membres étrangers. <sup>2</sup> Je vous prie de bien vouloir transmettre à vos confrères dans leur plus prochaine réunion, l'expression de ma profonde reconnaissance.

Ces remerciements sont sans doute tardifs mais je vous prie de vouloir bien agréer mes excuses; j'étais absent de Paris, et c'est aujourd'hui seulement que le brevet m'a été renvoyé.<sup>3</sup>

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mon respect.

Poincaré

**ALS 2p. MC 16.124, Library of the Royal Society, by permission of President and Council of the Royal Society.**

<sup>1</sup>William Thomson est président de la Royal Society of London.

<sup>2</sup>Poincaré fut proposé comme membre étranger de la Société Royale le 15.03.1894 par William Thomson (Lord Kelvin), John Evans, M. Foster, J.W. Strutt (Lord Rayleigh), Joseph Lister, Isaac Bayley Balfour, William A. Tilden, W.H. Perkin, T.E. Thorpe, A.H. Green, A. Sedgwick, John Kirk, J. Burdon Sanderson, John Lubbock, W.D. Niven, R.T. Glazebrook, Oliver J. Lodge, A.R. Forsyth, et A.A. Common. Selon leur proposition, "Professor Henri Poincaré of Paris, distinguished for his Researches in Mathematics, is recommended by us as a proper person to be placed on the List of Foreign Members of the Royal Society." Certificate of candidature, GB 117, Ref. EC/1894/02, Royal Society Library.

<sup>3</sup>Poincaré fut élu le 26.04.1894 (Certificate of candidature, op. cit.).

<sup>c</sup>Le cachet au départ de Paris porte la date du 13.01.1893. La lettre est arrivée à Glasgow le 14.01.1893, et réexpédiée à Édimbourg.

## 56.11 Thomson à Poincaré

June 30, 1894<sup>d</sup>  
34, Hans Place S.W.

Dear Mr. Poincaré,

I ought long ago to have thanked you for your kind letter of the 28<sup>th</sup> May. The promised second volume of your "*Méthodes Nouvelles*" came to Glasgow during my absence and has been forwarded to me here.<sup>1</sup>

I am very much pleased to have it and I find in it exactly what I wanted in regard to the equation

$$\frac{d^2u}{dx^2} = \Pi(x)u.$$

I have to thank you also for your beautiful volume "*Les Oscillations Electriques*" which I have also received here and which I find full of most interesting matter.<sup>2</sup>

Believe me, Yours very truly,

Kelvin

**ALS 3p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1892–99).

<sup>2</sup>Poincaré (1894a).

## 56.12 Thomson à Poincaré

December 20. 1895.<sup>e</sup>  
THE UNIVERSITY, GLASGOW

Dear Mr. Poincaré,

I think I must give up my disbelief in Thought-reading and Telepathy. Yesterday I gave instructions to have copies of my own published volumes sent to you. This morning I have received "*Capillarité*", "*Théorie Analytique de la Propagation de la Chaleur*", and "*Calcul des Probabilités*" from you.<sup>1</sup>

I shall certainly find a great deal to interest me in every one of these books and I thank you very much for your kindness in sending them.

With best wishes to you for the New Year, I remain, Yours very truly,

Kelvin

**ALS 2p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1895a,c, 1896a).

<sup>d</sup>This letter was penned by a copyist.

<sup>e</sup>This letter was penned by a copyist.



## 56.13 Poincaré à Thomson

[24.12.1895]<sup>f</sup>

My Lord,

J'ai reçu hier votre envoi de livres, envoi qui m'est précieux non seulement à cause de l'intérêt que j'aurai à lire ces volumes, mais parce qu'il me vient de vous.<sup>1</sup>

On est surpris de la quantité d'idées originales et ingénieuses que vous avez semées dans ces leçons et du tour saisissant pour l'esprit que vous avez su leur donner, en satisfaisant à la fois les lecteurs qui connaissent les mathématiques, et ceux qui y sont étrangers.

C'est un modèle qu'on voudrait pouvoir suivre.

J'ai commencé dans mes dernières leçons à exposer à mes élèves vos idées sur l'éther gyrostatique.<sup>2</sup> Il y a là quelque chose de plus satisfaisant que dans les autres théories mécaniques ; mais je ne serai tout à fait content que quand on aura retrouvé les pressions de Maxwell.

Veillez agréer, my Lord, l'assurance de mon respectueux dévouement,  
Poincaré

**ALS 2p. Add7342, Cambridge University Library.**

<sup>1</sup>Il s'agit peut-être des trois premiers volumes des *Mathematical and Physical Papers* (1882–1911), ou de ses *Popular Lectures and Addresses* (1889c).

<sup>2</sup>Influencé par les travaux de James McCullagh et George Green au début du XIX<sup>e</sup> siècle, Thomson (1889b) propose un modèle où l'éther est considéré comme un solide élastique ayant une structure cellulaire, chaque cellule étant constituée d'un minuscule gyrost. Selon les notes prises par Paul Langevin, Poincaré prend le modèle de Thomson en considération lors de son cours d'élasticité et optique, prononcé à la Sorbonne en 1895–1896 (Archives Langevin 123). Au moment de cette correspondance, selon Smith et Wise (1989, 471–494), Thomson commence à mettre en doute la pertinence de son modèle mécanique de l'éther. A ce propos, voir aussi D.M. Siegel (1981).

## 56.14 Thomson à Poincaré

February 14.1896

THE UNIVERSITY, GLASGOW

Dear Mr. Poincaré,

I now return to you the papers you sent me with signatures of the chief English mathematicians. I enclose also an English translation of the address with three of the signatures, but you are authorised to append the signatures of the other four to this translation if ultimately it is decided to send to Prof. Mittag-Leffler an English version of the address.<sup>1</sup>

Believe me, Yours very truly,

Kelvin

P.S. I send enclosed with this, a money order for £2 as a contribution from myself to the subscription for the portrait.

**ALS 1p. AN 313AP/41, Archives nationales, Paris.**

<sup>f</sup>Le manuscrit porte une annotation de main inconnue : "Dec 24.95". L'enveloppe (P89) porte un cachet de la poste : "CLAUDE-BERNARD 24 DEC 95".

<sup>1</sup>When *Acta mathematica* encountered financial difficulties, Poincaré circulated a letter of support among leading mathematicians, with which the journal's editor Gösta Mittag-Leffler intended to lobby the Swedish government for a grant. See (Poincaré, 1999, § 126), and Poincaré to Vito Volterra (§ 58.2).

## 56.15 Thomson à Poincaré

10<sup>th</sup> Nov. 1898

THE UNIVERSITY, GLASGOW

Dear Mr. Poincaré,

I thank you very much for your kindness in sending me Vol. III of your book "*Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste*." <sup>1</sup> I am very glad to have it.

With kind regards, Yours very truly,

Kelvin

**ALS 1p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré (1892–99).

## 56.16 Thomson à Poincaré

March 2nd. 1901.<sup>g</sup>

15, Eaton Place, S.W.

Dear Mr. Poincaré,

I am sorry to say it is too true that there are, as you tell me in your letter which I have received this morning, several mistakes in respect to magnitude and to sign in my statements regarding the nutation which would exist if the earth consisted of a rigid ellipsoidal shell filled with frictionless liquid.<sup>1</sup> Ever since 1876 when that statement of results was published, I have been looking for time to go through the mathematical work again and publish it.<sup>2</sup> If I had succeeded in finding the time, no doubt I would have corrected the errors myself; but in this I was anticipated by an Irish professor (W.J. Mc. F. Orr, of the Royal College of Science, Dublin), in a paper published in the *Philosophical Magazine* for December 1898.<sup>3</sup> The corrections which you will find in this paper agree, I believe, with those you now give me. The subject is most interesting, and I hope yet to return to it, but meantime I hope you will publish your own work with your corrections of my errors. In my mathematical work I suppose for simplicity the ideal interior liquid to be frictionless. No assumption of viscosity in the liquid would be, to my mind, very interesting. It certainly could not show any way of escaping my main conclusion that the earth is on the whole an elastic solid of high rigidity; though probably or possibly not so high as to cause practically perfect resistance against change of shape by the tide-generating influences of the sun and moon.

<sup>g</sup>This letter was penned by a copyist; there is also a draft (LB 9, 66, Cambridge University Library).

I thank you warmly for your kindness in writing to me and telling me of the errors you have found.

Believe me, with kind regards, Yours very truly,  
Kelvin

**TLS 1p. Private collection, Paris.**

<sup>1</sup>Poincaré's letter has not been located.

<sup>2</sup>Thomson (1863), (1867, §§ 878–879), later corrected (1876), and reedited with minor changes (1882–1911, 3, 312–336). Poincaré's and Orr's remarks are aimed at the 1876 version.

<sup>3</sup>Orr (1898). William McFadden Orr (1866–1934), professor of applied mathematics.

## 56.17 Thomson à Poincaré

July.21.1902

Dear Mr. Poincaré,

I thank you very much for your letter of July 17th wh[ich] I have only rec[eived] this morning in consequence of its having been readdressed from the Athenaeum by mistake, my Scottish home instead of to my London address as above. <sup>1</sup> I am much ob[li]g[e]d to you for calling my attention to M. Cremieu's note communicated by you to the Academy on Jy. 7. <sup>2</sup> I feel strongly with you that it is very embarrassing to have conflicting experiments on such a vitally important subject as the generation of a magnetic field by the motion of electrified ponderable matter.

I think your idea that a serious meeting between Mr. Cremieu & Mr. Pender with arrangements to go through experiments together is highly desirable in the interests of science. I think however that the best place for meeting is certainly either in Paris or in Baltimore. <sup>3</sup> If an invitation could be sent officially from Paris or from M. Cremieu or from yourself to the Johns Hopkins University for Mr. Pender to come to Paris and go through experiments with M. Cremieu on their common subject in Paris I feel sure that it would be well received and would if possible be accepted. <sup>4</sup> It might possibly be considered more convenient that the expnts sh[oul]d be made in the John Hopkins Laby of Baltimore. But in any case I think most probably that good results would follow if some such invitation were sent from Paris. <sup>5</sup>

B[elieve] m[e] y[ours] v[ery] t[ruly]

**ADft 1p. LB 9.64, Cambridge University Library.**

<sup>1</sup>Poincaré's letter to W. Thomson has not been located.

<sup>2</sup>Crémieu (1902b), which is V. Crémieu's response to H. Pender (1901a). On the Crémieu-Pender experiments, see the introduction to the Crémieu correspondence (§ 17).

<sup>3</sup>Poincaré's letter to W. Thomson probably suggested that the side-by-side experiments be carried out in a British laboratory.

<sup>4</sup>Poincaré took it upon himself to extend an invitation to Pender, although he would have preferred that his colleague Édouard Branly (§ 11) make the invitation, as it was in the latter's laboratory that the experiments were to be conducted; see (§ 17.15) and (§ 45.1).

<sup>5</sup>Poincaré gave Thomson's letter to Crémieu for comment (§ 17.14), and charged him to show it to Bouty (§ 17.15).

## 56.18 Thomson à Poincaré

27th Feb. 05

I thank you very much for the 1st/01 . . .

which you have kindly sent & wh[ich] I have re[ceive]d this morn[ing]. I shall certainly find much to interest me in it.<sup>1</sup>

Will you accept as an acknowledgment in return a copy of my *Baltimore Lectures* wh[ich] I am instructing the Camb. Univ. Press to send to you.<sup>2</sup>

Bel[ieve] me, with kind regds, Yours v[ery] truly,

**ADft 1p. LB 14.64, Cambridge University Library.**

<sup>1</sup>The reading matter in question is most likely the first volume of Poincaré's *Leçons de mécanique céleste* (1905–1910).

<sup>2</sup>Thomson gave a series of twenty lectures at Johns Hopkins University in the fall 1884, the notes of which he reworked and published (1904). The original stenographic notes have been edited along with historical essays by Kargon and Achinstein (1987).

## Chapitre 57

# Jules Violle

Ancien élève de l'École normale supérieure, Jules Violle (1841–1923) est agrégé de physique en 1865, et passe sa thèse à la Sorbonne sur l'équivalent mécanique de la chaleur en 1870. Il enseigne aux lycées de Besançon et de Dijon, et au lycée Saint-Louis (Paris). En 1872 il devient professeur de physique à la faculté des sciences de Grenoble, et puis en 1883, professeur à la faculté des sciences de Lyon. L'année suivante, il revient à l'École normale comme maître de conférences de physique. Il succède à Edmond Becquerel à la chaire de physique appliquée au conservatoire national des arts et métiers en 1891, et entre à l'Académie des sciences, section de physique générale, en 1897 (Atten, 1994).

### 57.1 Violle à Poincaré

[Ca. 07–10.05.1907]

JULES VIOLLE, MEMBRE DE L'INSTITUT  
89, BOULEVARD SAINT-MICHEL  
se fera un plaisir de voter pour vous lundi.<sup>1</sup>

#### AC. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Il s'agit de l'élection du secrétaire perpétuel des sciences physiques à l'Académie des sciences, dans laquelle Poincaré se présente contre Albert de Lapparent, membre de la section de minéralogie. Dans une lettre circulaire du 10.05.1907 annonçant son désistement (§4.11), Poincaré exprime sa crainte d'être élu Secrétaire perpétuel de justesse, de sorte qu'on imagine que la majorité de ses collègues de la division des sciences physiques (qui ne comprend ni la section de physique, ni la section d'astronomie) ne lui aient pas donné leurs voix.

## Chapitre 58

# Vito Volterra

Vito Volterra (1860–1940) est engagé vers 1877 comme préparateur au laboratoire de physique de l'Institut technique Galileo Galilei à Florence. Il s'inscrit à la faculté des sciences naturelles de l'université de Pise en 1878, et un an plus tard, après avoir étudié le latin et le grec, il intègre l'École normale de Pise, où il suit les cours de Ulisse Dini et Enrico Betti.<sup>1</sup>

Il soutient une thèse de physique en 1882 à l'université de Pise, où il devient professeur de mécanique rationnelle en 1883. En 1893 il accepte la chaire de mécanique rationnelle et de mécanique supérieure à l'université de Turin, et en 1900 il succède à Eugenio Beltrami dans la chaire de physique mathématique et mécanique céleste à l'université de Rome. Il est élu correspondant pour la section de géométrie à l'Académie des sciences de Paris en 1904, à la place de Luigi Cremona.<sup>2</sup> En 1905 il est nommé sénateur du royaume d'Italie. Volterra contribue à plusieurs domaines mathématiques ; il a fondé la théorie des fonctionnels, d'où sont sorties les équations intégro-différentielles ; il s'intéresse également à la biologie mathématique, et voit la dynamique des populations comme une question de dynamique classique. Dans une communauté scientifique italienne dominée par des mathématiciens, Volterra est un mathématicien renommé, et une figure éminente. En 1907 il devient le premier président de la société italienne pour le progrès des sciences (Galdbini et Giuliani, 1988, 129). A partir de 1925, Volterra est président de l'Accademia dei Lincei, mais les fascistes sont déjà au pouvoir, alors que Volterra est démocrate et juif. Il refuse de faire serment au régime de Mussolini, et est obligé de quitter à la fois sa chaire à l'université de Rome, et les académies scientifiques italiennes.<sup>3</sup>

La correspondance transcrite ici traverse près d'un quart de siècle, pendant lequel Volterra et Poincaré ont eu l'occasion de se voir à plusieurs reprises. Lorsque Poincaré souffre d'un malaise pendant le congrès des mathématiciens à Rome en 1908, Volterra à l'occasion de lui montrer son amitié, qui est appréciée par Poincaré (§ 58.10). De même, Volterra soutient la candidature de Poincaré pour le prix Nobel de physique de 1910 à 1912 (§§ 62.25, 62.31, 62.33). Le 2 décembre 1911, Volterra est invité par le vice recteur de la Sorbonne de faire une série de leçons et de conférences ; Volterra accepte, et donne des leçons sur la théorie de fonctions de lignes à Paris de janvier à mars.<sup>4</sup> Quand Poincaré disparaît trois

mois plus tard, Volterra rédige une appréciation de l'œuvre en analyse, physique mathématique, et mécanique d'un homme qu'il juge "trop moderne" pour être comparé à ses contemporains (1914).

#### Notes

<sup>1</sup> Sur la jeunesse de Volterra, voir les documents édités par Giovanni Paoloni (1990).

<sup>2</sup> *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138, 673.

<sup>3</sup> Sur la vie et les travaux de Volterra, voir le *DSB*, Pérard (1941), Whittaker (1941), Goodstein (1984), Bottazzini (1994), Fichera (1994), et J. Gray (2001).

<sup>4</sup> Paoloni (1990, 86–87). Les notes Joseph Pérès sont éditées (Volterra, 1913) dans la *Collection de monographies sur la théorie des fonctions* d'Émile Borel.

## 58.1 Volterra à Poincaré

Pise le 30 Mai [1889]

Monsieur,

Vous m'avez fait l'honneur de m'inviter à prendre part aux travaux du Congrès international de bibliographie des sciences mathématiques qui se tiendra à Paris vers la fin du mois de Juillet.<sup>1</sup> Je vous remercie et je vous envoie mon adhésion.

Agréez, Monsieur, l'assurance de ma haute considération.

Vito Volterra

**ALS 1p. S. 1, fasc. 1060, lett. 1, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup> En tant que président du comité d'organisation du congrès fondateur d'un catalogue bibliographique des publications mathématiques, le répertoire bibliographique des sciences mathématiques, Poincaré a fait envoyé en mai 1889 un appel à participation à tous ceux intéressés par les recherches mathématiques. Le congrès est organisé par rapport à l'exposition internationale de Paris, avec le soutien du Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies. Lors du congrès, qui se tient à Paris dans les locaux de la société mathématique de France du 16 au 19 juillet 1889, Poincaré est élu président de la commission permanente du répertoire. La commission publie d'abord un index (1893), et ensuite, entre 1894 et 1912, vingt mille fiches bibliographiques. A propos du répertoire, voir Rollet et Nabonnand (2003).

## 58.2 Poincaré à Volterra

4 mars 1896

Mon cher Collègue,

Vous savez sans doute que l'on prépare une adresse à M. Mittag Leffler et je crois même que vous avez déjà envoyé votre adhésion. Mais nous voudrions vous demander un autre service ; ce serait de faire traduire en italien *le plus tôt possible* l'adresse dont je vous envoie le texte définitif.<sup>1</sup>

Pouvez-vous le faire et envoyer la traduction à M. Painlevé 99 rue de Rennes à Paris.<sup>2</sup>

Pardonnez-moi le dérangement que je vous cause.

Votre tout dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 1p. S. 1, fasc. 1060, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>Il s'agit vraisemblablement d'un texte de soutien des *Acta mathematica*, journal dirigé par Mittag-Leffler, et qui rencontre des difficultés financières ; voir Poincaré (1999, § 126), et la lettre de W. Thomson du 14.02.1896 (§ 56.14).

<sup>2</sup>Paul Painlevé (1863–1933) est professeur de mécanique rationnelle à la faculté des sciences de Lille

## 58.3 Poincaré à Volterra

PARIS, LE 27 mai 1899<sup>a</sup>

CONGRÈS INTERNATIONAL DES MATHÉMATIENS, PARIS 6–12 AOÛT 1900  
COMITÉ D'ORGANISATION, 7, RUE DES GRANDS-AUGUSTINS

Mon cher Collègue,

Je suis chargé par le Comité d'organisation de vous demander si vous voudrez bien consentir à faire une conférence dans l'une des séances générales du Congrès. Nous attachons tous un grand prix à votre acceptation et espérons recevoir prochainement une réponse favorable. Vous ferez connaître plus tard le sujet que vous aurez choisi et la durée probable de votre conférence.<sup>1</sup>

Veillez agréer, mon cher Collègue, l'assurance de ma haute considération et de mes sentiments bien dévoués.

Poincaré

Président de la Commission des travaux

**ALS 2p. S. 1, fasc. 1060, lett. 4, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei. Transcrite par Paoloni (1990, 78).**

<sup>1</sup>Cinq conférences générales sont prononcées lors du congrès de Paris, par Volterra, Poincaré, Moritz Cantor, David Hilbert, et Gösta Mittag-Leffler (Duporcq, 1902). Poincaré invite ce dernier à faire une conférence "sur un sujet un peu général" le 29.01.1900 ; voir (1999, § 150). Il accorde 45 minutes à Hilbert, en lui priant de ne pas le raconter aux autres ; voir vol. 4 de la Correspondance.

## 58.4 Poincaré à Volterra

[Ca. 10.1899–30.11.1900]

Mon cher Collègue,

Les trois sujets que vous proposez sont également tentants ; vous pouvez choisir celui qui vous conviendra le mieux. Nos préférences seraient peut-être pour

Betti Brioschi Casorati.<sup>1</sup>

<sup>a</sup>Le manuscrit fut rédigé par un copiste. En bas de la première page on trouve l'annotation d'une deuxième main inconnue : "A Monsieur Vito Volterra".



Mais il vaut mieux que vous choisissiez vous-même sans tenir compte de ces préférences.<sup>2</sup>  
 Tout à vous et merci,  
 Poincaré

**ALS 1p. S. 1, fasc. 1060, lett. 5, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>La lettre en question n'a pas été retrouvée. Volterra fait deux conférences lors du congrès, une sur les analystes italiens (1902a), l'autre dans la section de mécanique, sur les équations aux dérivées partielles (1902b).

<sup>2</sup>Volterra informera Poincaré de son choix le 30.11.1899 (§58.5).

## 58.5 Volterra à Poincaré

Turin 30 Novembre 18[99]

Très honoré Monsieur,

Pardonnez moi si j'ai tardé à répondre à votre aimable lettre. J'espérais toujours de pouvoir vous envoyer en même temps un tirage à part de la conférence que j'ai faite à Côme (pour le centenaire de Volta) sur le flux d'énergie dont M. Borel vous a parlé.<sup>1</sup>

Je n'ai pas reçu jusqu'à présent des exemplaires et dans les épreuves il y a trop de corrections pour qu'elles soient lisibles. Mais j'espère de pouvoir vous envoyer un tirage à part entre peu de jours. Je serais heureux si cette question pourrait intéresser les lecteurs de *l'éclairage électrique*.<sup>2</sup>

J'ai définitivement choisi pour sujet de la conférence au congrès de Paris :

Betti, Brioschi, Casorati<sup>3</sup>

Je vais m'en occuper dès ce moment.

Agréer, Monsieur, l'expression de toute ma considération et de mon profond respect.

Vito Volterra

**ADfTS 3p. S. 1, fasc. 1060, lett. 6, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>Émile Borel. Il s'agit du premier congrès des électriciens italiens, tenu à Côme entre le 18 et le 23 septembre 1899. Volterra (1899b; 1899a) cherche une généralisation de l'analyse de J.H. Poynting (1884) pour l'énergie mécanique.

<sup>2</sup>Publié entre 1894 et 1907 par l'Union des syndicats de l'électricité, *l'Éclairage électrique* accueille des articles concernant l'électricité pratique et théorique, dont plusieurs articles de Poincaré, qui est membre du conseil scientifique. Il semble que Poincaré ait préféré publier un résumé de l'article de Volterra par G. Goisot (1900).

<sup>3</sup>Voir l'invitation de Poincaré (§ 58.3), et sa suggestion d'un sujet de conférence (§ 58.4). Enrico Betti (1823–1892), professeur de mathématiques à l'Université de Pise, et directeur de la *Scuola normale superiore*. Francesco Brioschi (1824–1897), fondateur et directeur de l'École polytechnique de Milan. Felice Casorati (1835–1890), professeur de mathématiques à l'université de Pavia. Sur la place de ces trois mathématiciens dans l'histoire des mathématiques italiennes, voir Bottazzini (1994, 124).

## 58.6 Volterra à Poincaré

[1899]<sup>b</sup>

Bertrand Hermite Picard Darboux Poincaré<sup>1</sup>

Très honoré Monsieur,

Je vous prie d'agréer l'expression de mes plus vifs remerciements pour l'envoi que la Section de géométrie m'a fait des *Œuvres* de Cauchy.<sup>2</sup> J'ai été très honoré de ce marque de bienveillance et je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance.

Je serai heureux si je pourrai contribuer avec vous mon avis à la recherche et la publication des travaux que Cauchy a fait pendant son séjour en Italie.<sup>c</sup>

Il a enrichi de travaux de la plus haute importance les publications scientifiques italiennes de cette époque.<sup>3</sup>

Agréer, Monsieur, l'expression de mon entier dévouement et de mon profond respect.

V. V.

**ADfTS 3p. S. 1, fasc. 1060, lett. 3, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>Il s'agit des membres de la section de géométrie de l'Académie des sciences : Joseph Bertrand, Charles Hermite, Émile Picard, Gaston Darboux et Henri Poincaré.

<sup>2</sup>Cauchy (1882–1938).

<sup>3</sup>Augustin-Louis Cauchy (1789–1857) s'est exilé de France en 1830 et se trouvait en 1831 à Turin, où il enseignait la physique mathématique en 1832 (Belhoste, 1984).

## 58.7 Poincaré à Volterra

[21.01.1900]

Mon cher Collègue,

Vous m'avez annoncé, il y a quelque temps déjà, l'envoi de deux manuscrits ; mais je n'ai rien reçu.<sup>1</sup>

Votre bien dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 1p. S. 1, fasc. 1060, lett. 7, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>Une lettre de Volterra (§ 58.5) mentionne un texte à envoyer (sur le flux d'énergie), mais selon une deuxième lettre (§ 58.8), il lui aurait envoyé deux textes.

<sup>b</sup>Le manuscrit porte une annotation de main inconnue : "1899".

<sup>c</sup>Variante : "... séjour à Turin."

## 58.8 Volterra à Poincaré (fragment)

Turin 23 Janvier 1900

Très honoré Monsieur,

Les travaux que je vous ai envoyés sont imprimés,<sup>d</sup> je m'empresse de vous en envoyer des nouveaux exemplaires.<sup>1</sup> Lorsque j'ai vu M. Borel au mois d'Octobre je lui ai demandé s'il aurait été possible de reproduire en Français le travail sur le flux d'énergie que j'avais lu à la réunion de Côme pour le centenaire de la pile,<sup>e</sup> et dont la rédaction italienne était alors sous presse.<sup>2</sup>

M. Borel m'a écrit que le journal *l'éclairage électrique* aurait pu la publier et m'a dit de vous envoyer les épreuves que je corrigeais. Mais ces épreuves étaient illisibles et j'ai préféré vous envoyer le travail déjà publié, dont je suis prêt à faire une traduction française si vous croyez qu'il soit méritable d'être reproduit dans *l'éclairage électrique* ou dans toute autre revue française.

Dans deux petites communications que j'ai faites à l'Académie de Turin et que j'ai pris la liberté de vous envoyer aussi, je développais la question d'une manière mathématique, mais quelques physiciens m'ont demandé de la traiter d'une manière élémentaire.<sup>3</sup> C'est ce que j'ai fait dans la lecture de Côme, et c'est de cette manière qui est plus accessible aux physiciens et que je traduirais volontiers. Je ne sais pas si le travail soit trop long, ou si ayant paru en Italien, cela constitue une difficulté. Je serais heureux de pouvoir le faire connaître en France. Il se rapporte

[fin du fragment]

**ADft fragment 3p. S. 1, fasc. 1060, lett. 8, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup> Poincaré a réclamé ces articles par lettre du 21.01.1900 (§58.7).

<sup>2</sup> Émile Borel. Il s'agit du premier congrès des électriciens italiens (voir §58.5).

<sup>3</sup> Volterra (1899b,a).

## 58.9 Poincaré à Volterra

[Ca. 1907]

Mon cher Collègue,

Vous pouvez dire à ceux de vos collègues qui ont bien voulu m'offrir de faire partie du Comité pour le Congrès de Rome que je regarde cette offre comme un très grand honneur et que je l'accepte avec grand plaisir.<sup>1</sup>

Votre bien dévoué Collègue,  
Poincaré

**ALS 1p. S. 1, fasc. 1060, lett. 9, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup> Poincaré est membre du conseil scientifique du quatrième congrès des mathématiciens, qui aura lieu à Rome entre le 6 et le 11.04.1908 (Castelnuovo, 1909).

<sup>d</sup> Variante : "que je vous ai envoyés ~~et que vous n'avez pas reçus~~ sont imprimés".

<sup>e</sup> Variante : "les fêtes centenaire de la pile".

## 58.10 Poincaré à Volterra

[Ca. 10–15.04.1908]

GRAND HÔTEL DE LA MINERVE, ROME

Mon cher Collègue,

Je vous suis très reconnaissant de tout le mal que vous vous êtes donné pour moi, et je vous remercie beaucoup d'avoir pris plusieurs fois de mes nouvelles.<sup>1</sup> Les progrès sont lents, mais continus et j'espère être bientôt en état d'entreprendre le voyage.

Merci encore.

Votre bien dévoué Collègue,

Poincaré

**ALS 1p. S. 1, fasc. 1060, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>Lors du congrès des mathématiciens tenu à Rome du 6 à 11 avril 1908, Poincaré a un malaise, qui l'empêche de faire son discours le 10 avril ; Gaston Darboux lit le texte de Poincaré à sa place (908c). Malgré ses ennuis de santé, le 13 avril Poincaré tient son engagement de rendre compte des travaux du congrès pour les lecteurs du *Temps* (1908a).

## 58.11 Poincaré à Volterra

[Ca. 14–30.04.1908]

Mon cher ami,

Je tiens à vous remercier de tout ce que vous avez fait pour moi pendant mon séjour à Rome ; et de toute la peine que vous avez prise par amitié pour moi.<sup>1</sup>

Mon voyage s'est heureusement terminé sans incident ni fatigue. Nous sommes arrivés vendredi soir à Paris après avoir fait étape à Florence, à Milan et à Lausanne. Le médecin que j'ai vu en arrivant a confirmé ce que m'avait dit le Professeur Mazzoni et a été en somme très rassurant.

Veillez, mon cher ami, présenter à Madame Volterra les compliments de ma femme et mes respectueux hommages et croire à l'assurance de mon entier dévouement,

Poincaré

**ALS 2p. S. 1, fasc. 1060, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>Poincaré remercie Volterra de ses attentions suite à son malaise lors du congrès des mathématiciens (§58.10).

## 58.12 Poincaré à Volterra

[Ca. 05–06.1908]

Mon cher ami,

Je viens vous demander un service. Le professeur Mazzoni n'a pas voulu accepter d'honoraires et je voudrais lui envoyer un petit souvenir.<sup>1</sup> Malheureusement je ne sais rien de sa vie et de ses goûts et je suis un peu embarrassé pour le choix.

Pourriez-vous me donner quelques renseignements. Et d'abord a-t-il chez lui la lumière électrique ? Dans le cas de l'affirmative j'aurais peut être une idée qui conviendrait assez. Est-il marié ? Reçoit-il beaucoup ? Enfin si vous pouviez me tirer d'embarras sur toutes ses questions, je vous en serais très reconnaissant.

Je vous remercie beaucoup de toutes les amabilités que vous avez eues pour moi pendant mon séjour.

Je suis maintenant complètement remis.

Veillez, mon cher ami, présenter à Madame Volterra les compliments de ma femme et mes respectueux hommages et croire à mon sincère dévouement,

Poincaré

**ALS 2p. S. 1, fasc. 1060, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>Le professeur Mazzoni a soigné Poincaré à Rome suite au malaise de ce dernier pendant le congrès des mathématiciens ; voir (§§ 58.10, 58.11).

## 58.13 Poincaré à Volterra

[Ca. 05-08.10.1910]

Mon cher Collègue,

Je lirai avec le plus grand intérêt votre travail sur les équations intégro-différentielles.<sup>1</sup> Mais je ne pourrais commencer cette lecture qu'à mon retour d'Allemagne, car je pars dans quelques jours.<sup>2</sup>

Veillez, je vous prie, agréer mes affectueux souvenirs et vous charger de transmettre à Madame Volterra les compliments de ma femme et mes respectueux hommages,<sup>3</sup>

Poincaré

**ALS 2p. S. 1, fasc. 1060, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

<sup>1</sup>Volterra (1909a,b).

<sup>2</sup>Poincaré représente la faculté des sciences de Paris lors de la commémoration du centenaire de la Friedrich-Wilhelms-Universität de Berlin, du 10 au 13.10.1910. Il devait voyager avec sa fille aînée Jeanne Poincaré selon une lettre à Mittag-Leffler ; voir Poincaré (1999, § 256).

<sup>3</sup>Virginia Almagià, épouse de Volterra depuis 1900 (Whittaker 1941, 693).

## 58.14 Poincaré à Volterra

[Ca. 01.1911/1912]

Mon cher ami,

Merci de vos souhaits et recevez à votre tour tous nos vœux pour Madame Volterra et pour vous.

A bientôt, j'espère.

Votre entièrement dévoué,

Poincaré

**ACS. S. 1, fasc. 1060, Archivio Volterra, Accademia Nazionale dei Lincei.**

## Chapitre 59

# Pierre Weiss

Pierre Weiss (1865–1940) obtient un diplôme d'ingénieur en mécanique à l'École polytechnique fédérale de Zurich en 1887, et enseigne brièvement au lycée Saint Louis à Paris, avant d'entrer à l'École normale supérieure en 1888. Il passe l'agrégation de physique en 1893, et travaille comme préparateur, avant d'être nommé maître de conférences à la faculté des sciences de Rennes en 1895. Il soutient une thèse sur "l'aimantation de la magnétite cristallisée et de quelques alliages de fer et d'antimoine" à la Sorbonne en 1896, et quitte Rennes pour la faculté des sciences de Lyon en 1899. En 1902, Weiss devient professeur de physique expérimentale à l'École polytechnique de Zurich, et directeur de l'institut de physique. Vers 1908, il présente sa candidature à la succession d'Henri Becquerel au Muséum d'histoire naturelle. Poincaré rédige un rapport (62.22) sur les travaux de Weiss et de Jean Becquerel; ce dernier est nommé à la chaire de son père, selon la recommandation de Poincaré. Après la première guerre mondiale, Weiss crée et dirige un institut de physique à l'université de Strasbourg, réputé pour des recherches sur le magnétisme. En 1926, il est élu membre non résidant de l'Académie des sciences (*DSB*). La correspondance conservée entre Poincaré et Weiss a lieu en 1911. Elle concerne deux jeunes physiciens théoriciens, formés tous les deux à l'École polytechnique de Zurich : Walter Ritz (1878–1909) et Albert Einstein (1879–1955). Le premier est mort peu de temps après son habilitation en physique à l'université de Göttingen; c'est Weiss qui rédige la préface de ses *Œuvres*. Le second est professeur de physique à l'université allemande de Prague, et le cible de tentatives de recrutement menés par plusieurs universités, dont l'université de Leyde, où H.A. Lorentz (§ 38) cherche son successeur, et l'université de Zurich, où une chaire de mathématique et de physique est restée vacante depuis 1902. Dans l'intérêt de la nomination d'Einstein, Weiss interroge Marie Curie (§ 18) et Poincaré à son sujet; la réponse de Poincaré est transcrite ici.<sup>1</sup>

### Notes

<sup>1</sup> Sur le recrutement d'Einstein par l'université de Zurich, voir Medicus (1994), et Einstein (1993, 353n3).

## 59.1 Poincaré à Weiss (extrait)

[Ca. 1910]

Les problèmes de Physique mathématique se ramènent presque tous à un type commun.<sup>1</sup> C'est le mérite de Fredholm d'avoir trouvé une méthode générale et rigoureuse qui leur est applicable à tous. Elle consiste en dernière analyse à traiter les équations intégrales et différentielles linéaires comme un système d'une infinité d'équations du premier degré à une infinité d'inconnues. La solution se présente ainsi comme le quotient de deux expressions analogues à des déterminants.

Ces déterminants se présentent eux-mêmes sous la forme de séries ; le premier terme de chacune de ces séries est une intégrale simple, le second une intégrale double et ainsi de suite. Bien que les séries soient extrêmement convergentes, bien que la loi de formation des termes soit élégante et simple, il en résulte pour le calcul numérique des difficultés presque insurmontables. Aussi la méthode de Fredholm, excellente pour démontrer rigoureusement la possibilité du problème, ce qui était considéré naguère encore comme extrêmement difficile, excellente peut-être aussi pour découvrir certaines propriétés analytiques de la solution, quoique à cet égard elle n'ait pas encore fait ses preuves, n'a pas encore été employée pour le calcul numérique et ne paraît pas devoir l'être sous sa forme actuelle.

La méthode de Ritz se prête mieux au calcul numérique. Elle consiste à représenter la solution comme une somme de termes d'une forme donnée affectés de coefficients indéterminés et à déterminer ces coefficients par la méthode des moindres carrés.

C'est une méthode d'ingénieur ; seulement Ritz est parvenu dans deux cas, celui du problème de Dirichlet et celui de l'élasticité, à montrer d'une façon tout à fait rigoureuse qu'en prenant un nombre suffisamment grand de termes, on peut approcher autant qu'on le veut de la solution exacte. Il a montré aussi quelles étaient les propriétés analytiques essentielles de cette solution, telles qu'elles étaient déjà connues par la méthode de Fredholm.<sup>2</sup>

Les mêmes procédés de démonstration seraient-ils applicables à tous les problèmes analogues et, par exemple, aux problèmes de Fourier ? Ritz le croyait, je le crois aussi, mais le temps lui a manqué pour le vérifier.

**PTrL, Ritz (1911, xv-xvi).**

<sup>1</sup>Poincaré répond ici vraisemblablement à une sollicitation de Weiss, qui publie l'extrait reproduit ici.

<sup>2</sup>Sur la méthode d'Ivar Fredholm voir Poincaré (1999, §§ 307, 353, 371, 375).

## 59.2 Weiss à Poincaré

Zurich 30 oct 1911<sup>a</sup>

Monsieur,

J'ai l'honneur de vous adresser les *Œuvres* de Ritz dont la Société Suisse de Physique est heureuse de vous faire hommage en souvenir de l'intérêt que vous avez bien voulu témoigner au jeune savant et à la publication de ses travaux.<sup>1</sup>

Un second exemplaire, destiné dans notre pensée à l'Académie des Sciences a été joint à l'envoi. Nous vous serions en effet tout particulièrement obligés si vous vouliez vous charger de la présentation.<sup>2</sup>

Veillez agréer, Monsieur, mes sentiments très respectueusement dévoués.

P. Weiss

### ALS 1p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup>Ritz (1911). Invité à Göttingen par la commission Wolfskehl en avril 1909, Poincaré rend visite à Ritz, et s'excuse au nom de l'Académie des sciences de ne pas lui avoir décerné le prix Vaillant (Forman et Hermann, 1975, 475 ; Weiss 1911, x). A titre posthume, l'Académie lui décerne le prix Le Conte "pour ses travaux de physique mathématique et de mécanique" (Gauja, 1917). A la demande de Weiss, Poincaré contribue un résumé des travaux scientifiques de Ritz, que Weiss publie dans sa préface aux *Œuvres*.

<sup>2</sup>Poincaré présente les *Œuvres* de Ritz à l'Académie des sciences le 13.11.1911, soulignant au passage "la première théorie cohérente des raies du spectre ; une méthode nouvelle pour la solution du problème général de l'élasticité ; des vues originales sur les principes de l'Électrodynamique" (*Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 153, 924).

## 59.3 Poincaré à Weiss

[Ca. 11.1911]<sup>b</sup>

*Copie*

Mon cher collègue,

M. Einstein est un des esprits les plus originaux que j'aie connus ; malgré sa jeunesse, il a déjà pris un rang très honorable parmi les premiers savants de son temps.<sup>1</sup> Ce que nous devons surtout admirer en lui, c'est la facilité avec laquelle il s'adapte aux conceptions nouvelles et sait en tirer toutes les conséquences. Il ne reste pas attaché aux principes classiques, et, en présence d'un problème de physique, est prompt à envisager toutes les possibilités.<sup>2</sup> Cela se traduit immédiatement dans son esprit par la prévision de phénomènes nouveaux, susceptibles d'être un jour vérifiés par l'expérience. Je ne veux pas dire que toutes ces prévisions résisteront au contrôle de l'expérience le jour où ce contrôle deviendra possible. Comme il cherche dans toutes les directions, on doit au contraire s'attendre à ce que la plupart des voies dans lesquelles il s'engage soient des impasses ; mais on doit en même temps espérer que l'une des directions qu'il a indiquées soit la bonne ; et cela suffit. C'est bien ainsi qu'on doit procéder. Le rôle de la physique mathématique est de bien poser les questions, ce n'est que l'expérience qui peut les résoudre.

<sup>a</sup>Le manuscrit comporte des calculs de la main de Poincaré, qui ne sont pas transcrits.

<sup>b</sup>Le document porte une annotation de main inconnue : "Nov. 1911 ?".



L'avenir montrera de plus en plus quelle est la valeur de M. Einstein, et l'Université qui saura s'attacher ce jeune maître est assurée d'en retirer beaucoup d'honneur.<sup>3</sup> Je vous remercie beaucoup de l'envoi des *œuvres* de Ritz ; c'est là aussi un homme qui a beaucoup fait pour la Science et dont on aurait pu attendre beaucoup plus encore si la mort ne l'avait si prématurément enlevé.<sup>4</sup>

Votre bien dévoué collègue,

Poincaré

**TrL. Archives Henri Poincaré. Extraite par Seelig (1954, 162–163).**

<sup>1</sup>Einstein a 32 ans ; il est professeur de physique théorique à l'université allemande de Prague. En Allemagne on le considère déjà comme un théoricien hors pair ; selon Max Planck, Einstein peut devenir "le Copernic du vingtième siècle" (R.A. Clark, 1971, 135). A Paris, Einstein sera élu membre non résidant du conseil de la société française de physique le 19.01.1912 (*Procès-verbaux de la société française de physique* 1912, 9).

<sup>2</sup>Poincaré a eu l'occasion d'observer l'attitude d'Einstein envers la physique du XIX<sup>e</sup> siècle lors du conseil Solvay (§ 53), du 29.10 au 04.11.1911.

<sup>3</sup>Einstein sera nommé professeur de physique théorique à l'École polytechnique fédérale de Zurich le 30.01.1912 (Einstein, 1993, 407, note 1).

<sup>4</sup>Voir la lettre de Weiss (§ 59.1) qui accompagnait deux exemplaires des *Œuvres* de Ritz (1911).

# Chapitre 60

## Adolphe Wurtz

Adolphe Wurtz (1817–1884) commence ses études à Strasbourg, où il passe sa thèse sur l'albumine et la fibrine à la faculté de médecine en 1843. Il va ensuite à Giessen, où il entreprend des recherches au laboratoire de Justus von Liebig. En 1845, Wurtz est le préparateur de Jean-Baptiste Dumas à la faculté de médecine de Paris, où il devient professeur de chimie organique et minérale lorsque Dumas cède sa chaire en 1853. Élu membre étranger de la *Royal Society* de Londres en 1864, Wurtz appartient dès 1867 à la section de chimie de l'Académie des sciences. Il est doyen de la faculté de médecine de 1866 à 1875, quand il inaugure la chaire de chimie organique créée à la Sorbonne (*DSB* ; Rocke, 2001).

Wurtz est réputé pour sa méthode de synthèse d'hydrocarbures (réaction de Wurtz) et surtout pour sa synthèse du glycol (1856), à partir de laquelle Wurtz et d'autres élaborent la notion de valence. Défenseur, contre M. Berthelot, de la théorie atomiste, il publie plusieurs manuels de chimie, et une histoire (1869) qui proclame : "La chimie est une science française." Pendant l'année 1881, Wurtz préside l'Académie des sciences, et reçoit la lettre de Poincaré que nous publions ici.

### 60.1 Poincaré à Wurtz

Paris, le 28 Février 1881

Monsieur le Président,

J'apprends qu'un mémoire que j'ai eu l'honneur de soumettre au jugement de l'Académie et de présenter au Concours pour le Grand Prix des Sciences Mathématiques a été l'objet d'une distinction spéciale.<sup>1</sup>

Ce mémoire portait pour épigraphe Non inultus Premor. J'ai l'honneur de prier l'Académie de vouloir bien procéder à l'ouverture du pli cacheté qui renferme mon nom.<sup>2</sup>

Je suis avec respect, Monsieur le Président, votre dévoué serviteur,

Poincaré

**ALS 2p. Archives de l'Académie des sciences de Paris.**

<sup>1</sup>L'élection des membres du jury du Grand Prix de 1880 a lieu à l'Académie des sciences le 12.04.1880 ; J. Bertrand, V. Puiseux, J.-C. Bouquet, O. Bonnet et Ch. Hermite sont élus (*Comptes rendus* 90, 1880, 850). Poincaré est chargé du cours d'analyse à la faculté des sciences de Caen ; le résultat du concours lui fut communiqué vraisemblablement par Hermite, qui lui écrit au sujet de son mémoire le 11.02.1881 (*Correspondance de Poincaré*, vol. 4).

<sup>2</sup>Le concours de 1880 fut annoncé en 1878 ; il s'agissait de "Perfectionner en quelque point important la théorie des équations différentielles linéaires à une seule variable indépendante." Poincaré compléta son mémoire principal (1923 ; 1916–1956, I, 336–372) par trois suppléments (1997) qui établissent de nouvelles fonctions automorphes : les "fonctions fuchsienes". Le résultat du concours est annoncé à l'Académie des sciences le 14.03.1881 (Poincaré, 1916–1956, II, 71–74) : le Grand Prix est décerné à G.-H. Halphen, avec des mentions "très honorables" pour deux mémoires (sur six), dont celui de Poincaré (J. Gray et S. Walter, 1997).

# Chapitre 61

## Pieter Zeeman

Pieter Zeeman (1865–1943) commence ses études supérieures en 1885 à l'université de Leyde, où il fait la connaissance de Heike Kammerlingh Onnes et H.A. Lorentz (§ 38). Il devient l'assistant de ce dernier en 1890, et se met à l'étude de l'effet de Kerr, en vue d'un concours de l'Académie royale des sciences néerlandaise. Ses recherches emportent le prix, ainsi que le doctorat en 1893.<sup>1</sup> Il passe un semestre à l'institut de physique de Strasbourg, où il travaille avec Emil Cohn, avant de revenir à Leyde en tant que Privatdozent. A partir de 1897, Zeeman enseigne la physique à l'université d'Amsterdam ; il devient professeur extraordinaire en 1900, et succède à J.D. van der Waals en 1908 comme directeur du laboratoire de physique (*DSB*).

En 1896, avec un réseau de Rowland récemment acquis par le laboratoire de physique, Zeeman met en évidence d'abord le grossissement des raies d'émission d'un gaz ionisé sous l'action d'un champ magnétique, puis leur division en un nombre impair ou pair de composantes, connu bientôt comme l'effet Zeeman normal dans le premier cas, ou anormal dans l'autre cas. L'effet trouve une explication dans la théorie de Lorentz (1895) ; pour cette découverte Zeeman et Lorentz partageront le prix Nobel de physique en 1902, avec l'appui de Poincaré et ses collègues (§ 62.7). Suite à la découverte de Zeeman, Joseph Larmor (§ 34) retouche sa propre théorie de l'électron, en faisant l'hypothèse de l'égalité de la charge électrique entre l'ion d'hydrogène, d'une part, et les électrons responsable de la production des raies D du sodium, d'autre part. Il montre ensuite que pour un observateur dans un référentiel en rotation uniforme  $\omega = (e/2m)\mathbf{B}$ , l'effet du champ magnétique sur l'électron est annulé en première approximation. Sa démonstration est à l'origine de ce qui sera appelé plus tard la fréquence de Larmor.<sup>2</sup>

### Notes

<sup>1</sup>La thèse de Zeeman révèle une faille dans l'explication offerte par Paul Drude des expériences magnéto-optiques de Rimmelt Sissingh (Buchwald, 1985, 226).

<sup>2</sup>A propos de l'interprétation de l'effet Zeeman voir Kox (1997), et Robotti et Pastorino (1998). Sur la théorie de Larmor voir Buchwald (1985, chap. 20) et Warwick (1993).

## 61.1 Zeeman à Poincaré

Amsterdam 24/i '97<sup>a</sup>

Cher Monsieur,

Je me permette la liberté de vous adresser cette lettre pour demander un moment votre attention pour la communication ci-jointe. Je crois y avoir donné la base expérimentale de l'hypothèse de M. Lorentz<sup>†</sup> que les corps pondérables contiennent une multitude de petites particules à charges pos ou nég, c'est à dire des „ ions “, et que les phén[omènes] électriques except[ionnels] sont produits de ces ions.<sup>b</sup>

Dans les *Comm. of Leiden Labor.* paraîtra prochain[ement] un travail plus complet.<sup>1</sup>

<sup>†</sup> La théorie électronique

**ADft 1p. Papers of Pieter Zeeman (1865-1943), Physicist and Nobel Prize Winner, c. 1877–1946, inv. nr. 125, Noord-Hollands Archief.**

<sup>1</sup>Zeeman (1897c,d).

## 61.2 Zeeman à Poincaré

Amsterdam, 17. juin '97

Cher Monsieur,

Je vous remercie très cordialement du beau mémoire que vous avez publié dans *l'Éclairage électrique*.<sup>1</sup> J'ai l'honneur de vous envoyer ci-joint une note contenant un résumé succinct de mes dernières expériences.

Je vous serais bien obligé si vous vouliez communiquer cette note à la prochaine séance de l'Académie des Sciences, si vous croyez le contenu digne de cet honneur.<sup>2</sup> Je dois vous dire que les résultats étaient communiqués à l'Ac. d'Amsterdam dans la séance de Mai 29. Cependant rien n'a été publié dans une des langues principales. Un exposé plus complet paraîtra dans le *Phil. Mag.*<sup>3</sup>

Je vous prie, cher Monsieur d'agréer l'assurance de mon entière considération.

P. Zeeman

**ADftS 1p. Pieter Zeeman Papers, inv. nr. 125, Noord Hollands Archief.**

<sup>1</sup>Poincaré (1897a), publié le 05.06.1897, réédité dans (1916–1956, IX, 427–441). A propos des interprétations de l'effet Zeeman par Lorentz et Poincaré, voir Buchwald (1985, 248).

<sup>2</sup>Zeeman (1897b), présentée par Poincaré à l'Académie des sciences le 21.06.1897.

<sup>3</sup>Zeeman (1897e,a).

<sup>a</sup>La lettre porte l'annotation de main inconnue : “Poincaré”.

<sup>b</sup>Variante : “que tous les corps pondérables”.

# Chapitre 62

## Documents divers

### 62.1 Rapport sur la thèse de E. Carvallo

[Ca. 02.1890]<sup>1</sup>

La thèse de M. Carvallo a pour objet l'étude théorique et expérimentale de la dispersion des cristaux et en particulier de la dispersion des rayons caloriques obscurs. Avant d'aborder son sujet principal, l'auteur s'arrête longtemps à une question intéressante qui se rattache à la théorie des erreurs et au calcul des probabilités. Pour réduire les observations antérieures et les siennes en une formule empirique, il avait le choix entre deux méthodes connues depuis longtemps : celle des moindres carrés et celle de Cauchy. Celle de Cauchy présente de grands avantages au point de vue de la facilité des calculs et des vérifications, mais elle a le grave inconvénient de n'être pas conforme au calcul des probabilités. M. Carvallo a modifié la méthode des moindres carrés, non dans ce qu'elle a d'essentiel, mais dans la disposition des calculs, de manière à retrouver les avantages de celle de Cauchy. Les vérifications devenaient ainsi faciles ainsi que diverses simplifications qui rendent les calculs moins pénibles sans altérer sensiblement le résultat. Il montre ensuite que sa méthode est encore applicable, avec quelques changements au cas où les observations ne sont pas de même poids. Passant ensuite à son sujet principal, M. Carvallo cherche à dégager le caractère commun à toutes les théories de la dispersion ; il montre qu'elles reposent toutes sur cette proposition qu'il admet lui-même comme un postulat. Les équations du mouvement lumineux peuvent toujours être ramenées à la forme suivante : si  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  sont les composantes du déplacement d'une molécule étherée, les dérivées secondes

$$\frac{d^2\xi}{dt^2}, \frac{d^2\eta}{dt^2}, \frac{d^2\zeta}{dt^2},$$

sont égales à une fonction linéaire de  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  et des dérivées de ces trois quantités par rapport à  $x$ ,  $y$  et  $z$ . On a cru longtemps que les termes en  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$ , connus sous le nom de termes de Briot, n'existaient pas ou pouvaient être négligés ; mais l'étude du spectre calorique obscur montre qu'il n'en est pas ainsi ; il est impossible de représenter l'indice

de réfraction  $n$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  par une série ne contenant que des puissances négatives de  $\lambda$ .<sup>2</sup> Quelles sont les conséquences de ce fait au point de vue de la théorie de la double réfraction ?

Les théories de la double réfraction sont très nombreuses ; toutes rendent également bien compte des faits connus jusqu'ici ; on peut se demander s'il en sera encore de même quand on tiendra compte de la dispersion des rayons obscurs et du terme de Briot ? Ces théories peuvent se répartir en trois groupes ; celle de Fresnel, celles de MM. Sarrau et Boussinesq, celles de Lamé, Neumann et MacCullagh.<sup>3</sup> M. Carvallo soumet ces trois groupes de théories à une double discussion, d'abord par la voie géométrique, et ensuite par la voie analytique. Il montre qu'à la condition d'admettre le postulat énoncé plus haut, les trois groupes conduisent à des lois différentes pour la dispersion. Dans les cristaux à un axe, l'indice ordinaire doit être constant, quelque soit la couleur, avec les théories des deux premiers groupes ; il devient variable dans les théories du groupe de Neumann. De plus, la loi de l'indice ordinaire n'est plus ni dans la théorie de Sarrau, ni dans celle de Neumann la même que dans celle de Fresnel.

Il restait à vérifier expérimentalement les résultats obtenus ; l'auteur a reconnu ainsi que la théorie de Neumann doit être rejetée, et que les lois des deux indices sont bien conformes aux théories de Sarrau et Fresnel. Les expériences ne sont pas assez précises pour décider entre ces deux dernières théories ; mais M. Carvallo ne désespère pas de perfectionner assez ses moyens d'observation pour arriver à reconnaître si l'éther est absolument incompressible comme le croyait Fresnel, ou si les vibrations ne sont qu'approximativement transversales, comme le pensent MM. Sarrau et Boussinesq.

La conclusion de l'auteur est que les vibrations de l'éther sont perpendiculaires au plan de polarisation. Quelque réserve qu'il convienne d'observer dans un sujet aussi délicat, il m'est permis de dire que l'argument de M. Carvallo est le plus sérieux de ceux qui ont été invoqués jusqu'ici en faveur de cette hypothèse de Fresnel.

En résumé en dehors d'une grande habileté expérimentale que nous n'avons pas à apprécier ici, M. Carvallo a fait preuve d'une solide instruction mathématique et d'un remarquable esprit critique. Sa thèse est de nature à faire faire un progrès sérieux à deux des parties les plus intéressantes des mathématiques, au calcul des probabilités d'une part, et d'autre part à la physique mathématique.

**ADS. AJ/16/5535, Archives nationales. Transcrit par Gispert (1991, 344–345).**

<sup>1</sup>La thèse d'Emmanuel Carvallo (1890b), "Influence du terme de dispersion de Briot sur les lois de double réfraction," a été soutenue à la Sorbonne le 26.02.1890.

<sup>2</sup>A ce propos, voir Carvallo (1890a, 37).

<sup>3</sup>Émile Sarrau, Joseph Boussinesq (§ 10), Gabriel Lamé, Franz Neumann, James MacCullagh.

## 62.2 Poincaré's Thermodynamique, by P.G. Tait

[14.01.1892]<sup>1</sup>

The great expectations with which, on account of the well-won fame of its Author, we took up this book have unfortunately not been realized. The main reason is not far to

seek, and requires no lengthened exposition. Its nature will be obvious from the following examples.

The late Prof. W.H. Miller, as able a mathematician as he was a trustworthy experimenter, regularly commenced his course of Crystallography at Cambridge (after seizing the chalk and drawing a diagram on the black board) with the words: "Gentlemen, let  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  be the coordinate axes."<sup>2</sup> And, some forty years ago, in a certain mathematical circle at Cambridge, men were wont to deplore the necessity of introducing words *at all* in a physico-mathematical text-book: the unattainable, though closely approachable, Ideal being regarded as a work devoid of aught but formulæ!

But one learns something in forty years, and accordingly the surviving members of that circle now take a very different view of the matter. They have been taught, alike by experience and by example, to regard mathematics, so far at least as physical inquiries are concerned, as a mere auxiliary to thought: of a vastly higher order of difficulty, no doubt, than ordinary numerical calculations, but still to be regarded as of essentially the same kind. This is one of the great truths which were enforced by Faraday's splendid career.

And the consequence, in this country at least, has been that we find in the majority of the higher class of physical text-books few except the absolutely indispensable formulæ. Take, for instance, that profound yet homely and unpretentious work, Clerk-Maxwell's *Theory of Heat*. Even his great work, *Electricity*, though it seems to bristle with formulæ, contains but few which are altogether unnecessary. Compare it, in this respect, with the best of more recent works on the same advanced portions of the subject.

In M. Poincaré's work, however, all this is changed. Over and over again, in the frankest manner (see, for instance, pp. xvi, 176), he confesses that he lays himself open to the charge of introducing unnecessary mathematics: and there are many other places where, probably thinking such a confession would be too palpably superfluous, he does not feel constrained to make it. This feature of his work, at least, is sure to render it acceptable to one limited but imposing body, the *Examiners for the Mathematical Tripos (Part II.)*.

M. Poincaré not only ranks very high indeed among pure mathematicians but has done much excellent and singularly original work in applied mathematics: all the more therefore should he be warned to bear in mind the words of Shakespeare<sup>3</sup>

"Oh ! it is excellent  
To have a giant's strength; but it is tyrannous  
To use it like a giant."

From the physical point of view, however, there is much more than this to be said. For mathematical analysis, like arithmetic, should never be appealed to in a physical inquiry till unaided thought has done its utmost. Then, and not till then, is the investigator in a position rightly to embody his difficulty in the language of symbols, with a clear understanding of what is demanded from their potent assistance. The violation of this rule is very frequent in M. Poincaré's work and is one main cause of its quite unnecessary bulk. Solutions of important problems, which are avowedly imperfect because based on untenable hypotheses (see, for instance, §§ 284–286), are not useful to a student, even as a warning: they are much more likely to create confusion, especially when a complete solution, based upon full experimental data and careful thought, can be immediately af-



terwards placed before him. If something is really desired, in addition to the complete solution of any problem, the proper course is to prefix to the complete treatment one or more exact solutions of simple cases. This course is almost certain to be useful to the student. The whole of M. Poincaré's work savours of the consciousness of mathematical power: and exhibits a lavish, almost a reckless, use of it. Todhunter's favourite phrase, when one of his pupils happened to use processes more formidable than the subject required, was "Hm: breaking a fly on the wheel!" He would have had frequent occasion to use it during a perusal of this volume. An excellent instance of the dangerous results of this lavish display of mathematical skill occurs at pp. 137–38, the greater part of which (*as printed*) consists of a mass of error of which no one, certainly, would accuse M. Poincaré. The cause must therefore be traced to the unnecessary display of dexterity with which, after obtaining the equation

$$Q_2/Q_1 = 1 - Af(T_1, T_2),$$

where the *order* of the suffixes is evidently of paramount importance, M. Poincaré proceeded to say "Nous pouvons donc écrire

$$Q_1/Q_2 = \Phi(T_1, T_2)."$$

But his unfortunate printer, not prepared for such a *tour de force*, very naturally repeated the  $Q_2/Q_1$  of the first equation, with the result of wholly falsifying all that follows. On the other hand, we must fully recognize that, when more formidable analysis is really required (as, for instance, in the treatment of v. Helmholtz's monocyclic and polycyclic systems), M. Poincaré seems to feel so thoroughly at home as to criticize with freedom. One test of the soundness of an author, writing on Thermodynamics, is his treatment of temperature, and his introduction of absolute temperature. M. Poincaré gets over this part of his work very expeditiously. In §§ 15–17 temperature,  $t$ , is conventionally defined as in the Centigrade thermometer by means of the volume of a given quantity of mercury; or by any continuous function of that volume which increases along with it. Next (§ 22) absolute temperature,  $T$ , is defined, provisionally and with a caution, as  $273 + t$ ; from the (so-called) laws of Mariotte and Gay-Lussac. Then, finally (§ 118), absolute temperature is virtually defined afresh as the reciprocal of Carnot's function. [We say *virtually*, as we use the term in the sense defined by Thomson. M. Poincaré's *fonction de Carnot* is a different thing.] But there seems to be no hint given as to the results of experiments made expressly to compare these two definitions. Nothing, for instance, in this connection at all events, is said about the long-continued early experimental work of Joule and Thomson, which justified them in basing the measurement of absolute temperature on Carnot's function. In saying this, however, we must most explicitly disclaim any intention of charging M. Poincaré with even a trace of that sometimes merely invidious, sometimes purely Chauvinistic, spirit which has done so much to embitter discussions of the history of the subject. On the contrary, we consider that he gives far too little prominence to the really extraordinary merits of his own countryman Sadi Carnot. He writes not as a partisan but rather as one to whom the history of the subject is a matter of all but complete indifference. So far, in fact, does he carry this that the name of Mayer, which frequently

occurs, seems to be spelled incorrectly on by far the greater number of these occasions! He makes, however, one very striking historical statement (§ 95): "Clausius . . . lui donna le nom de *Principe de Carnot*, bien qu'il l'eût énoncé sans avoir connaissance des travaux de Sadi Carnot."

Still, one naturally expects to find, in a Treatise such as this, some little allusion at least to Thermodynamic Motivity; to its waste, the Dissipation of Energy; and to the rest of those important early results of Sir W. Thomson, which have had such immense influence on the development of the subject. We look in vain for any mention of Rankine or of his Thermodynamic Function; though we have enough, and to spare, of it under its later *alias* of Entropy. The word dissipation does indeed occur, for we are told in the Introduction that the *Principe de Carnot* is "*la dissipation de l'entropie*."<sup>4</sup>

We find Bunsen and Mousson cited, with regard to the effect of pressure upon melting points, almost before a word is said of James Thomson; and, when that word does come, it wholly fails to exhibit the real nature or value of the great advance he made.<sup>5</sup>

Andrews again, *à propos* of the critical point, and his splendid work on the isothermals of carbonic acid, comes in for the barest mention only *after* a long discussion of those very curves, and of the equations suggested for them by Van der Waals, Clausius, and Sarrau: though his work was the acknowledged origin of their attempts.<sup>6</sup>

The reason for all this is, as before hinted, that M. Poincaré has, in this work, chosen to play almost exclusively the part of the pure technical analyst; instead of that of the profound thinker, though he is perfectly competent to do that also when he pleases. And, in his assumed capacity, he quite naturally looks with indifference, if not with absolute contempt, on the work of the lowly experimenter. Yet, in strange contradiction to this, and still more in contradiction to his ascription of the Conservation of Energy to Mayer, he says of that principle: "personne n'ignore que c'est un fait expérimental."

Even the elaborate thermo-electric experiments of Sir W. Thomson, Magnus, &c., are altogether ignored. What else can we gather from passages like the following?

(§ 287) "Sir W. Thomson admet qu'il existe une force électromotrice au contact de deux portions d'un même conducteur à des températures différentes; il assimile donc ces deux portions à deux conducteurs de nature différente, assimilation qui paraît très vraisemblable."

(§ 291) "... si l'effet Thomson a pu être mis en évidence par l'expérience, on n'a pu jusqu'ici constater l'existence des forces électromotrices qui lui donnent naissance."

Everyone who comes to this work of M. Poincaré fresh from the study of Clerk-Maxwell's little treatise (or of the early papers of Thomson, to which it owed much) will feel as if transferred to a totally new world. Let him look, for instance, at Maxwell's treatment of the Thermodynamic Relations, Intrinsic and Available Energy, &c., and then turn to pp. 148–150 of M. Poincaré's work. There he will find at least a large portion of these most important matters embodied in what it seems we are now to call the *Fonctions caractéristiques de M. Massieu*?<sup>7</sup>

But the most unsatisfactory part of the whole work is, it seems to us, the entire ignorance of the true (*i.e.* the statistical) basis of the second Law of Thermodynamics. According to

Clerk-Maxwell (*Nature*, xvii, 278)

“The touch-stone of a treatise on Thermodynamics is what is called the second law.”

We need not quote the very clear statement which follows this, as it is probably accessible to all our readers. It certainly has not much resemblance to what will be found on the point in M. Poincaré's work: so little, indeed, that if we were to judge by these two writings alone it would appear that, with the exception of the portion treated in the recent investigations of v. Helmholtz, the science had been retrograding, certainly not advancing, for the last twenty years.

P. G. T.

**PD. Tait (1892b).**

<sup>1</sup>Book review, published on 14.01.1892.

<sup>2</sup>William Hallowes Miller (1801–1880).

<sup>3</sup>Isabella to Angelo, in *Measure for Measure*, act 2, scene 2.

<sup>4</sup>Poincaré (1892i, 1).

<sup>5</sup>Robert Bunsen, Albert Mousson (1805–1890).

<sup>6</sup>Thomas Andrews (1813–1885), J.D. van der Waals, Rudolf Clausius, Émile Sarrau.

<sup>7</sup>The functions to which Tait objects are those Jacques Massieu (1832–1896) presented in a series of notes on the “fonctions caractéristiques des divers fluides”, in the *Comptes rendus* 69 (1869). For Poincaré (1892i, 150), a “great simplification” may be realized in certain cases, as the equations of thermodynamics may be expressed in terms of Massieu's functions and their derivatives only.

## 62.3 Poincaré et Appel à l'Université de Stockholm : Rapport sur MM. Bjercknes et Petrini

Paris le 30 Avril 1895

Rapport de M.M. Poincaré et Appell<sup>1</sup>

Nous avons été chargés, par l'Université de Stockholm, d'examiner les titres de M.M. Bjercknes et Petrini, candidats à la chaire de Mécanique Rationnelle et de Physique Mathématique, vacante dans cette université.<sup>2</sup>

Les travaux de M. Bjercknes ont eu pour objet principal l'étude des oscillations électriques découvertes par Hertz.<sup>3</sup> Il y a quelques années, les expériences de M.M. Sarasin et de la Rive en mettant en évidence le phénomène de la résonance multiple avaient semblé montrer que les oscillations dont un excitateur hertzien est le siège, ont un caractère d'extrême complication.<sup>4</sup>

Les savants genevois pensaient que l'excitateur primaire émet non pas une radiation de longueur d'onde déterminée, mais un ensemble de radiations formant une espèce de spectre continu ; cette manière de voir fut d'abord généralement adoptée.

Mais les expériences de Genève comportaient une autre interprétation que les travaux de M. Bjercknes ont finalement fait triompher. Le phénomène de la résonance multiple peut s'expliquer en supposant que le primaire émet une radiation unique, mais très rapidement amortie. Le résonateur secondaire placé dans un champ où se propageraient plusieurs

systèmes d'ondes électriques, par exemple une onde directe et une onde réfléchie, subirait une série de chocs pour ainsi dire et, l'effet résultant devant dépendre de l'intervalle de temps qui sépare ces chocs, il se produirait une sorte d'interférence.

Cette explication a été proposée pour la première fois par M. Poincaré ; mais M. Bjerknæs y a été conduit de son côté d'une façon tout à fait indépendante. En tout cas, ce qui lui appartient en propre, c'est la vérification expérimentale de cette vue théorique.<sup>5</sup>

Il fallait d'abord se rendre compte de la valeur de l'amortissement soit dans l'excitateur, soit dans le résonateur. La théorie faisait prévoir que le premier devait être considérable et le second relativement faible ; c'est même sur cette différence que l'explication nouvelle était fondée. Cette mesure était délicate ; M. Bjerknæs s'est servi d'abord de l'étude des courbes de résonance. Dans les phénomènes acoustiques où la résonance a d'abord été observée, l'amortissement est négligeable et on voit le son du résonateur se renforcer considérablement et presque instantanément, si en faisant varier sa période d'une manière quelconque, on le met à l'unisson du diapason excitateur. Quand il y a un amortissement notable, comme dans les oscillations électriques et surtout quand cet amortissement n'est pas le même pour le primaire et pour le secondaire, les phénomènes sont beaucoup moins nets ; car il ne peut alors y avoir identité parfaite entre l'excitateur et le résonateur ; on a bien encore un maximum, mais beaucoup moins accentué. On conçoit donc que l'étude de la courbe qui représente les variations de l'intensité des oscillations secondaires en fonction de leur période, puisse nous renseigner sur la valeur de cet amortissement.

Pour le résonateur, M. Bjerknæs se sert d'une électromètre à quadrants ; l'emploi de cet appareil lui a rendu de grands services ; Hertz avait déjà cherché à étudier les effets mécaniques des vibrations électriques très rapides ; mais ses expériences n'étaient guère que purement qualitatives et peu susceptibles de précision. M. Bjerknæs a eu le mérite d'introduire un véritable instrument de mesure et d'ouvrir ainsi une voie entièrement nouvelle.<sup>6</sup> Ce que l'on mesure à l'aide de l'électromètre n'est pas du tout en effet ce qu'on mesure à l'aide du micromètre à étincelles. Ce dernier appareil nous donne pour ainsi dire la mesure de l'intensité maxima et le premier donne celle de l'intensité moyenne.

Grâce à cet instrument, M. Bjerknæs a pu non seulement mesurer l'amortissement du résonateur, ce qui lui a déjà fourni une première confirmation de ses idées, mais construire la forme même de la courbe qui représente l'oscillation du primaire ; cette forme était bien conforme à ses prévisions ; en même temps M.M. Jones, Pérot et Birkeland parvenaient au même résultat.<sup>7</sup>

M. Bjerknæs a pu, dans des expériences délicates, se rendre compte des causes de la dissipation de l'énergie dans les résonateurs et faire ainsi la part du rayonnement et de la chaleur de Joule. Il a en même temps mesuré la profondeur à laquelle pénètrent les perturbations électriques dans un conducteur ; à cet effet, il s'est servi de résonateurs formés de métaux différents et il les a ensuite recouverts de couches électrolytiques de diverses épaisseurs.

Les expériences de M. Zehnder ont récemment remis en faveur l'explication de M.M. Sarasin et de la Rive ; mais M. Bjerknæs n'a pas eu de peine à faire voir que ces brillantes expériences s'expliquent tout aussi bien dans sa manière de voir qui semble ainsi entièrement confirmée.<sup>8</sup> Je citerai également un travail sur l'application des principes de la mécanique en physique.<sup>9</sup>

M. Bjerknæs porte dignement ce nom depuis longtemps célèbre ; les expériences de son père sur l'imitation hydrodynamique des phénomènes électriques et magnétiques sont trop connues pour que je songe à les décrire ici ; je me bornerai à dire que de bonne heure, M. Bjerknæs fils a apporté à son père le concours d'une habileté expérimentale précoce et que ce concours ne lui a pas été inutile. D'ailleurs il a lui-même écrit deux intéressants mémoires sur ce sujet.

Les travaux de M. Petrini ont principalement porté sur la théorie des gaz ; nous avons de lui un travail sur quelques notions fondamentales de la théorie de la chaleur où il s'efforce de préciser certaines définitions ; et d'autres sur les effets du choc des molécules gazeuses dans la théorie cinétique ; sur la façon dont se comporte un gaz sous l'action de la gravitation ; sur les chaleurs spécifiques des gaz.<sup>10</sup>

Il n'a pas semblé que ces mémoires, où on relève quelques idées ingénieuses, ajoutent beaucoup aux résultats obtenus par les savants anglais, qui ont cultivé cette théorie avec la prédilection que l'on sait.

M. Petrini a également étudié les propriétés des courbes que l'on peut tracer en enveloppant un contour convexe à l'aide d'un fil plus long que ce contour, tendant ce fil à l'aide d'un crayon et déplaçant ensuite ce crayon. Il a été conduit à quelques formules qui sont intéressantes parce qu'elles s'appliquent à un contour convexe quelconque et qui sont analogues à celle de Crofton.<sup>11</sup>

Citons encore un travail sur l'induction unipolaire et les aimants tournants. Dans d'autres recherches purement analytiques, sur la transformation de l'équation  $\Delta\Phi = 0$  ou de l'équation  $\Delta\Phi + p\Phi = 0$ , sur les fonctions de vecteurs, M. Petrini a fait preuve d'une assez grande dextérité mathématique. Nous citerons, pour terminer, un long mémoire manuscrit sur les principes de la mécanique, où l'auteur s'est heureusement inspiré des idées de Kirchoff dans le premier volume de ses leçons de Physique mathématique.<sup>12</sup>

Les travaux de M. Petrini témoignent donc d'un esprit ingénieux et d'un réel mérite, mais s'ils font bien augurer de son avenir, ils ne paraissent pas de nature à lui donner dès à présent le droit d'occuper à l'Université de Stockholm la chaire de mécanique rationnelle et de physique mathématique.

Nous n'hésiterions pas à leur préférer ceux de M. Bjerknæs qui a fait preuve d'une bien plus grande originalité et qui a laissé sa marque personnelle dans l'une des théories les plus intéressantes de la Physique moderne.

Il a déployé une rare habileté expérimentale et a montré qu'il possédait une parfaite intelligence des idées fondamentales de la physique générale. Bien qu'il ait eu quelquefois l'occasion de manier avec succès l'instrument analytique, ses qualités le désigneraient plutôt pour l'enseignement de la physique proprement dite. Il a eu rarement l'occasion de s'occuper des questions relatives aux principes généraux de la Mécanique Rationnelle, et si les quelques pages qu'il a écrites à ce sujet, à propos des expériences de son père, montraient qu'il est loin d'y être étranger, il n'en est pas moins vrai qu'il n'a consacré à cette branche de la science qu'une faible partie de ses efforts.

Si nous osions nous permettre de donner un conseil à l'Université, nous proposerions de réserver à M. Bjerknæs une chaire de physique générale et de surseoir à la nomination d'un professeur de mécanique rationnelle et physique mathématique jusqu'au moment où se produirait un candidat dont les travaux auraient été poussés dans la direction mathé-

matique plus loin que ceux de M. Bjerknæs. Avec le nombre d'élèves très distingués que forme chaque année l'École Supérieure de Stockholm, on peut espérer que ce moment ne se fera pas longtemps attendre. Les mérites de M. Bjerknæs comme expérimentateur, son intelligence parfaite de la physique moderne nous semblent d'ailleurs le rendre digne des récompenses personnelles que l'Université voudra bien lui accorder.<sup>13</sup>

#### TD 5p. Institut Mittag-Leffler.

<sup>1</sup>Paul Appell (1855–1930), professeur de mécanique rationnelle à la Sorbonne.

<sup>2</sup>Dans une lettre à Paul Appell, Gösta Mittag-Leffler reprend les arguments de ce rapport et sa préférence pour le choix de Vilhelm Bjerknæs. Il fait allusion également à son action en faveur du frère de Paul Appell, emprisonné et condamné à Berlin pour espionnage dans le cadre de l'affaire Dietz Poincaré, 1999, § 124n6).

<sup>3</sup>Heinrich Hertz (§ 30).

<sup>4</sup>Édouard Sarasin (§ 52) et Lucien de la Rive (§ 33).

<sup>5</sup>Poincaré (1891c); Bjerknæs (1891a).

<sup>6</sup>Poincaré (1894a, 162–165) rend compte des expériences de Bjerknæs.

<sup>7</sup>Daniel Evan Jones (1891), Alfred Perot (§ 46), Kristian Birkeland (§ 5). A propos de leurs expériences, voir Poincaré (1894a, chap. 4).

<sup>8</sup>Bjerknæs (1895).

<sup>9</sup>Bjerknæs (1892).

<sup>10</sup>Henrik Petri (1863–1957) soutient sa thèse à l'université d'Uppsala en 1890, où il enseigne la mécanique entre 1892 et 1901 (Meijer et al., 1904–1926, XXI, 707).

<sup>11</sup>Morgan William Crofton (1826–1915) enseigna les mathématiques appliquées à la Royal Military Academy de Woolwich jusqu'en 1884. Selon la formule de Crofton pour les courbes convexes, la mesure d'un ensemble de droites qui coupent une telle courbe est égale à sa longueur.

<sup>12</sup>Kirchhoff (1883–1894).

<sup>13</sup>Ce paragraphe a été remanié selon les suggestions de Mittag-Leffler (Poincaré, 1999, § 124n6).

## 62.4 H. Zeuthen à Poincaré (fragment)

18 janvier 1899

Rosenvonge Sidealle 3, Copenhagen

Monsieur et très honoré collègue,

Je me permets de m'adresser à vous à l'occasion d'une prière de la part de mon ami M. Bäcklund à Lund en Suède.<sup>1</sup> Avant de venir à sa prière je dirai un peu de sa personne. Tout jeune il s'occupait avec succès de l'astronomie et de la géométrie. Surtout dans la dernière science il obtenait de beaux résultats qu'avec une modestie trop grande il se contentait de publier en suédois dans les mémoires de l'université de Lund, où même moi, qui demeure à une distance de Lund de moins de 50 kilomètres, fus étonné de les trouver plus tard à une époque où d'autres géomètres étaient parvenus indépendamment de lui aux mêmes résultats. Il a fait aussi, un peu plus tard, des contributions assez appréciées par M. Lie, aux théories de ce savant norvégien.<sup>2</sup>

Malgré ce mérite il ne trouvait pendant quelque temps aucune place. Au milieu des 70 années de notre siècle, un autre avait occupé le professorat de Mathématiques à l'université de Lund, parce qu'alors on croyait M. Bäcklund trop jeune. Plus tard pourtant on a érigé pour lui un professorat extraordinaire et pour cette raison plus modeste de la physique

mathématique. Depuis cette nomination il applique toutes ses forces à des questions physiques, et depuis 1886 est sorti de sa plume une longue série de travaux où il développe des théories physiques d'une assez grande portée. Je suis incompetent de juger si la valeur pour la physique de ses théories égale à leur finesse mathématique ; mais en tous cas je crois qu'elles méritent l'attention des physiciens. Il en a donné dans les *Annales de l'université de Lund* en allemand un résumé intitulé : *Elektrische und magnetische Theorien*.<sup>3</sup> La plupart des mémoires qu'il résume ont été publiés en suédois dans les publications de l'Académie de Stockholm ; toutefois un est rédigé en allemand et se trouve dans les *Mathematische Annalen* t. 34 ; il est intitulé « Zur Wellentheorie gasartiger Mittel ». <sup>4</sup>

Il a aussi publié, mais en suédois, des Leçons

1) *sur le mouvement des corps solides* (1897)<sup>5</sup>

2) *Introduction à la théorie des courants électriques* (1898).<sup>6</sup>

Il lui est très important d'avoir un jugement compétent sur la valeur de ses travaux physiques, tel qu'on peut en faire d'après le résumé et les mémoires publiés en allemand. L'intérêt actuel de ce jugement s'attache à la vacance du professorat *ordinaire* de physique à Lund. C'est sans doute l'affaire des autorités suédoises de décider si elles préfèrent pour cette place un représentant de la physique expérimentale ; selon moi *un* professorat ordinaire de physique expérimentale, *un autre* pour la physique mathématique ne seraient pas de trop. Quoiqu'il en soit, un jugement favorable des travaux de M. Bäcklund—et j'espère [fin du fragment]

#### AL fragment 4p. Collection particulière, Paris.

<sup>1</sup> Voir la lettre de Bäcklund à Poincaré (§3.1).

<sup>2</sup> Sophus Lie (1842–1899), professeur de mathématiques à l'université de Kristiania, meurt le 18 février 1899.

<sup>3</sup> Bäcklund (1898).

<sup>4</sup> Bäcklund (1889).

<sup>5</sup> Bäcklund (1897).

<sup>6</sup> Bäcklund (1899).

## 62.5 Rapport sur la thèse de C. Gutton

[Ca. 06.1899]<sup>1</sup>

L'objet de la Thèse de M. Gutton est l'étude expérimentale de certaines propriétés des ondulations hertziennes.

Un excitateur produit une perturbation qui se propage le long d'un fil ; ce fil se termine à une des armatures d'un condensateur de faible capacité, l'autre armature est en relation avec un fil secondaire. La perturbation en arrivant à l'extrémité du fil primaire, se partage en deux ; une partie de l'énergie est transmise au fil secondaire, une autre partie est réfléchie et revient en arrière en suivant le fil primaire. Cette transmission se fait-elle avec une différence de phase. Quelle est la proportion de l'énergie transmise et de l'énergie réfléchie. Telles sont les questions que M. Gutton s'est efforcé de résoudre.

Dans une première série d'expériences l'une des armatures est formée par le fil primaire lui-même, l'autre est un tube étroit en laiton dans lequel pénètre le fil primaire et qui



est prolongé par le fil secondaire. Dans ces conditions, la transmission se fait sans changement de phase, et sans aucune altération de la période et de l'amortissement. Si les armatures au lieu d'être constituées comme nous venons de le dire, étaient de simples plateaux, on constaterait au contraire une différence de phase qui s'expliquerait d'ailleurs très aisément par le détour imposé aux ondes par la nécessité de contourner les plateaux. L'auteur a d'ailleurs varié les expériences en essayant encore d'autres dispositions.

Pour l'étude de la forme de la perturbation l'auteur s'est servi, soit d'un résonateur, soit d'un électromètre analogue à celui de Bjerknæs.

La proportion de l'énergie transmise est d'autant plus grande que les ondes plus courtes ; elle est maximum lorsque la longueur des fils en présence est d' $\frac{1}{4}$  de longueur d'onde. Elle dépend naturellement de la forme et des dimensions du condensateur ; mais on pourrait s'attendre à la voir dépendre seulement de ses capacités ; il n'en est rien, la loi véritable est beaucoup plus compliquée.

Cette étude ne serait pas complète si elle ne comprenait la détermination de la nature du champ entre les deux armatures du condensateur, qui seule peut nous faire connaître le mécanisme de la transmission. Pour cette détermination, M. Gutton se sert de petites ampoules à vide qui s'illuminent dans le champ hertzien et s'éteignent aux points où la force électrique est nulle.

Dans une seconde série d'expériences, l'auteur adopte une disposition un peu différente. Les fils primaires au lieu d'être coupés à leur extrémité, sont réunis par un pont. Les fils secondaires sont également réunis par un pont ; et ces deux ponts recourbés en forme de cercle sont placés à peu de distance l'un de l'autre, de façon à pouvoir agir l'un sur l'autre par induction. Quand l'onde primaire arrive au pont, une partie de son énergie est transmise par induction au fil secondaire, une autre partie revient en arrière par les fils primaires. Dans ces conditions la transmission se fait avec une différence de phase d' $\frac{1}{2}$  période. A part ce changement de signe, M. Gutton retrouve les mêmes lois que dans le cas précédent.

Dans la troisième partie de sa thèse, il dispose ses appareils de telle façon que la partie de l'onde qui n'est pas transmise au fil secondaire, au lieu de rebrousser chemin, continue sa route dans le même sens en suivant le fil primaire qui est prolongé au-delà du point où a lieu la transmission. Le primaire se compose de deux fils parallèles indéfinis ; les fils secondaires, parallèles aux fils primaires sur une certaine longueur, sont ployés ensuite à angle droit en restant parallèles entre eux.

L'auteur signale en passant un fait qui me paraît très digne d'attention. Il a construit un résonateur rectiligne, formé d'un fil coupé en deux dont les extrémités peuvent être rapprochées à volonté par le moyen d'une pince en bis de façon à former un micromètre à étincelles. Un pareil résonateur, rigoureusement rectiligne, s'éteint complètement quand on le place parallèlement au fil primaire. Cette extinction au contraire ne peut pas être obtenue avec les résonateurs ordinaires, où les pièces métalliques du micromètre altèrent la rigoureuse rectilignité.

Dans les conditions que je viens de décrire, la transmission se fait sans changement de phase.

La quatrième partie de la thèse traite une question un peu différente- Quelle est la forme des lignes de force électrique dans le voisinage d'un résonateur. Pour faire cette étude,



M. Gutton se sert d'un cohéreur analogue à celui de M. Jagadis Chunder Bose, mais où il a intercalé des olives en laiton entre les ressorts.<sup>2</sup> Ce cohéreur est moins sensible que celui de M. Bose et d'une sensibilité plus constante. Il n'agit pas quand il est placé normalement à la force électrique, ce qui permet de déterminer la direction de cette force. Ce que je signalerai surtout parmi les résultats très complets de cette étude, c'est la convergence des lignes de propagation de l'énergie vers la coupure du résonateur.

Ce travail a été fait dans le laboratoire de M. Blondlot à la Faculté des Sciences de Nancy. Il dénote chez son auteur un esprit extrêmement judicieux et une connaissance approfondie des phénomènes hertziens. Il met en évidence de nouvelles lois de ces phénomènes. Nous sommes donc d'avis qu'il y a lieu d'autoriser M. Gutton à faire imprimer sa thèse et à la soutenir.

Poincaré

ADS. AJ/16/5537, Archives nationales.

<sup>1</sup>Camille Gutton (1899b) soutient sa thèse le 23.06.1899.

<sup>2</sup>J.C. Bose (1858–1937).

## 62.6 Rapport sur la thèse de V. Crémieu

[Ca. 30.05.1901]<sup>1</sup>

La Thèse de M. Crémieu touche à l'une des questions les plus importantes et en même temps les plus délicates de l'Electrodynamique. Quand un conducteur mobile porte une charge électrique, ce transport d'électricité qu'on peut appeler un courant de convection peut-il produire un champ magnétique comme les courants de conduction ordinaires.

On était depuis longtemps porté à la croire par des considérations *a priori* ; mais la vérification expérimentale paraissait extrêmement difficile ; Rowland cependant crut en être venu à bout et annonça en 1876 qu'il avait mis en évidence cet effet magnétique. Ces expériences furent d'ailleurs reprises par lui-même à Baltimore et par Himstedt et les résultats semblant concorder, l'existence de ce qu'on a appelé « l'effet Rowland » ne fut plus mis en doute par personne.

On bâtit sur cette donnée tout un échafaudage qui paraissait solide, et on en arriva à s'efforcer de réduire les courants de conduction eux-mêmes à des courants de convection qui devenaient ainsi le phénomène primordial de l'électrodynamique. De sorte que l'on ne saurait plus toucher à la loi que Rowland avait cru démontrer sans ébranler tout ce que nous croyions définitivement établi.

D'autre part l'effet Rowland devait avoir une contre-partie ; la croyance à cet effet se rattache au principe de l'unité de la force électrique. Or parmi les conséquences de ce principe, je signalerai la suivante : un champ magnétique variable produit des forces électromotrices d'induction qui se manifestent par la naissance de courants induits dans les conducteurs. Mais si la force électrique est une, ces forces d'induction devront produire les mêmes effets que les forces d'origine électrostatiques ; elles devront donc exercer des actions mécaniques sur les conducteurs électrisés.

Lodge chercha à mettre cet effet en évidence par l'expérience ; mais il n'obtint que des résultats douteux. M. Crémieu, espérant être plus heureux, imagina une méthode plus sensible et mieux à l'abri de toutes les causes d'erreur.

Deux extrémités d'un noyau de fer doux cylindrique engagées dans deux bobines ; on peut donc en faisant passer un courant dans ces deux bobines, faire naître un champ magnétique, que l'on peut faire disparaître à volonté.

Un disque annulaire en aluminium entoure la partie centrale du noyau du fer doux entre les deux bobines. L'anneau est interrompu suivant un diamètre afin que les charges électriques ne puissent passer de l'une des moitiés de l'anneau à l'autre. Si ce disque était constamment chargé, il subirait, au moment de la création du champ magnétique, un effet mécanique qui tendrait à le faire tourner dans un certain sens et au moment de la disparition du champ, un effet de sens contraire. Mais par le jeu d'un interrupteur, le disque se trouve chargé au moment de la création du champ et déchargé au moment de la disparition, de sorte que les effets mécaniques auxquels il devait être soumis sont toujours de même sens et devraient produire une déviation permanente.

Le disque est suspendu à un balance de torsion, qui dans la disposition finalement adoptée est formée d'un fil de quartz. Malheureusement ce disque et ce cadre sont trop lourds pour que le fil de quartz puisse en supporter le poids. La plus grande partie de ce poids porte donc sur un pivot et ce pivot lui-même est supporté par un flotteur reposant sur du mercure. Le système ne peut donc tourner sans subir un frottement très faible à la vérité. Les déviations attendues étaient dans le cas du fil de quartz de plus de  $2^\circ$ . Les résultats furent néanmoins constamment négatifs.

Peut-être convient-il de faire une légère réserve à cause de la faiblesse du couple à mesurer et de l'influence du frottement que l'on n'a pu éviter. Mais je dois ajouter que l'auteur a vérifié directement qu'un couple égal au couple calculé suffisait effectivement pour mettre le système en mouvement.

A la suite du résultat négatif de ces expériences, M. Crémieu, convaincu que l'effet théorique, qu'il regarderait comme le corollaire de l'effet Rowland, n'existait pas et en vint à concevoir des doutes au sujet de la réalité de l'effet Rowland lui-même et résolut de soumettre à une vérification nouvelle la loi qui était admise depuis vingt-cinq ans par tous les physiciens. La méthode qu'il employa diffère essentiellement de celle de Rowland et de Hinstedt.

Un disque vertical tourne autour d'un axe horizontal. Quand ce disque est chargé il détermine donc des courants circulaires de convection. Autour du disque se trouve un cadre circulaire sur lequel est enroulée une bobine portant un grand nombre de spires de fil fin. Si les courants de convection produisent un champ de convection, au moment où ces courants de convection prennent naissance et au moment où ils disparaissent il doit se produire des courants induits dans cette bobine secondaire. Un interrupteur charge et décharge périodiquement le disque tournant, faisant ainsi apparaître et disparaître les courants de convection ; il devrait donc se produire dans la bobine secondaire des courants induits alternativement dans un sens et dans l'autre. Mais l'interrupteur est disposé de façon à ce que le circuit secondaire soit fermé sur un galvanomètre au moment où le disque se charge et soit ouvert au moment où il se décharge. Alors le galvanomètre ne devrait subir que l'effet des courants induits de sens direct et par conséquent éprouver une déviation

permanente.

L'appareil est enfermé dans une boîte en fonte qui a pour double effet d'augmenter la capacité du disque tournant et de concentrer le champ magnétique.

Les résultats furent encore constamment négatifs. Comme contrôle on faisait passer dans une spire témoin un courant de conduction dont l'intensité était la même que celle du courant de convection et on observait très nettement des déviations. Plusieurs objections dans le détail desquelles je ne veux pas entrer pouvaient être faites à ces expériences, mais l'auteur en variant la forme est parvenu à les réfuter.

Cette expérience était en flagrante contradiction avec celles de Rowland. La méthode présentait sur celle de Rowland plusieurs avantages dont le principal était le suivant : l'appareil de mesure, c'est-à-dire le galvanomètre peut être éloigné autant qu'on le veut du disque tournant, il se trouve ainsi soustrait à une foule de causes perturbatrices et en particulier aux actions d'origine électrostatique.

Néanmoins, il importait de reprendre les expériences par la méthode même de Rowland, c'est-à-dire par l'observation directe de l'action du courant de convection sur un système astatique très sensible. Tant que le disque tournant resta enfermé dans une boîte métallique entièrement close les résultats furent nettement négatifs.

Mais il n'en fut plus tard tout à fait de même quand cette boîte fût remplacée par une boîte métallique à jour, comprenant une jante extérieure, un noyau et six rayons. Sur ce bâti étaient fixées deux plaques d'ébonite recouvertes en tout ou partie de papier d'étain et destinées à former les armatures négatives d'un condensateur double dont les armatures positives étaient les deux forces du disque tournant.

Dans ces conditions il se produisit des déviations, réversibles dans le sens de la charge et avec le sens de rotation. Mais elles étaient plus petites que l'effet Rowland attendu et ne croît pas aussi vite que lui.

Elles disparaissent par l'interposition d'une lame métallique entre le disque et le système astatique ; et elles varient en outre suivant la forme et la division des secteurs.

Ces phénomènes sont restés mal expliqués. Malgré l'action d'une lame métallique interposée, ils ne paraissent pas dus à des attractions électrostatiques ; car le tube de cuivre où l'appareil astatique a été enfermé dans quelques unes de ces expériences aurait dû constituer un écran électrostatique suffisant. M. Crémieu propose, avec quelques réserves, une explication. Les secteurs fixes se chargent et se déchargent alternativement, mais au moment de la charge l'électricité induite se déplace lentement, au moment de la décharge, elle se déplace rapidement. Dans les deux cas d'ailleurs elle se déplace par conduction ; dans le premier cas les courants de conduction n'auraient aucune action magnétique, dans le second cas ils en auraient et produiraient ainsi une déviation permanente.

Dans la lame métallique interposée se produiraient des courants induits qui neutraliseraient l'effet des courants primaires.

Cette explication ne me paraît pas acceptable ; il faudrait admettre qu'il y a plusieurs sortes de courants de conduction, et que certains d'entre eux seraient dépourvus d'action magnétique. C'est là une hypothèse qui me paraît insuffisamment justifiée.

D'autre part, les courants induits doivent se neutraliser mutuellement et ne pourraient par conséquent neutraliser les courants primaires.

J'aime donc mieux attribuer provisoirement ces phénomènes à la production d'étincelles ou d'aigrettes qui n'ont pas été aperçues.

Enfin dans une dernière série d'expériences la partie supérieure du bâti était supprimée ; le disque tournant porte plusieurs secteurs dorés, chacun de ces secteurs est chargé par un balai au moment où il se trouve dans la moitié inférieure, c'est-à-dire au moment où il forme condensateur et où sa capacité est la plus grande. Il est au contraire isolé au moment où il passe dans la partie supérieure ; il agit alors à découvert sur le système astatique.

Il se produisit encore des déviations ; à peu près de l'ordre de grandeur attendu.

Ces déviations changeaient de sens avec le sens de la charge ; mais elles n'étaient pas toujours renversées avec le sens de la rotation ; elles l'étaient souvent à la vérité. D'autre part elles ne variaient pas dans le sens où aurait dû varier l'effet Rowland.

Enfin et c'est là le point le plus important, elles disparaissaient quand au lieu d'enfermer le système astatique dans un tube de papier graphite qui ne formait qu'un écran électrostatique imparfait, on l'enfermait dans un tube métallique.

M. Crémieu, pensant alors que le phénomène était électrostatique, supprima dans l'appareil astatique les aiguilles aimantées. Les déviations subsistèrent. On peut se rendre compte qu'elle dépendaient de la charge de la lame de mica qui constituait l'appareil astatique. Elles changeaient de sens avec cette charge. Si cette charge était faible, il y avait réversibilité avec le sens de rotation ; cette réversibilité disparaissait si la charge était forte ; elle n'existait pas non plus si la lame de mica était remplacée par une lame d'Aluminium.

Cette réversibilité reste d'ailleurs mal expliquée.

Outre ces déviations, il s'en produirait d'autres qui n'avaient lieu qu'au moment l'établissement de la charge et qui n'étaient pas permanents. M. Crémieu a pu s'assurer qu'ils étaient bien d'origine électromagnétique et étaient dues à des étincelles.

Cette troisième série d'expériences est peut-être moins nette que les deux premières elle n'en est pas moins importante car l'auteur est arrivé à mettre en évidence certaines causes qui avaient pu tromper ses devanciers, et cela justement à l'occasion des résultats qui d'abord avaient paru divergents.

Peut-être n'avons-nous pas le droit de tirer de ces expériences dès aujourd'hui une conclusion définitive. Nous n'aurons de certitude absolue que quand elles auront été reprises et variées de plusieurs manières par d'autres expérimentateurs, qui seront pour ainsi dire tiers arbitres entre MM. Rowland et Crémieu.

Quoi qu'il en soit, M. Crémieu a rendu très douteuse une conclusion qui semblait définitivement acquise. Il a montré la nécessité de reprendre toutes les expériences et il a mis en évidence certaines causes d'erreur que des expérimentateurs exceptionnellement habiles n'avaient pas aperçues.

On peut même ajouter que les recherches de M. Crémieu montrent d'une façon à peu près certaine qu'il sera nécessaire de modifier complètement les idées actuellement reçues. Par quelles lois nouvelles devront-elles être remplacées, c'est ce que des recherches ultérieures peuvent seuls nous apprendre.<sup>2</sup>

M. Crémieu a donc rendu à la Science un service de premier ordre d'autant plus méritoire que les expériences à faire étaient extrêmement délicates. Nous sommes donc d'avis qu'il y a lieu de l'autoriser à soutenir sa thèse.

Poincaré

M. Crémieu a soutenu sa thèse d'une façon tout à fait satisfaisante, il a exposé très clairement les principes qui l'avaient guidé dans ses expériences, les difficultés qu'il a eues à surmonter et les résultats qu'il a obtenues. Il a en même temps fait connaître au jury plusieurs expériences nouvelles qu'il a exécutées depuis le dépôt de la thèse et qui complètent de la façon la plus heureuse les résultats de ses premières recherches.

Il a également répondu d'une manière très satisfaisante aux questions qui lui étaient proposées par la Faculté comme seconde thèse et qui se rapportaient à la théorie de la fermentation alcoolique.

Poincaré

**ADS. F<sup>17</sup>13248, AJ/16/5537, Archives nationales, Paris.**

<sup>1</sup>Victor Crémieu (§ 17) soutient sa thèse (1901a; 1901b; 1901c), "Recherches expérimentales sur l'électrodynamique des corps en mouvement," à la Sorbonne le 30.05.1901.

<sup>2</sup>Dans son compte-rendu de la thèse, Alfred Cornu (1901) observe que Lecher n'a pas pu revoir l'effet Rowland, alors que E.P. Adams l'a confirmé. A la différence de Poincaré, Cornu ne se prononce pas sur la réalité de l'effet.

## 62.7 Poincaré et al. au Comité Nobel

[Ca. 28.01.1902]<sup>a</sup>

Les Soussignés estiment que la candidature de M. le Professeur Lorentz pourrait être proposée pour le prochain prix Nobel de Physique.<sup>1</sup> Les raisons que l'on peut faire valoir en faveur de cette candidature sont les suivantes.

La théorie de Maxwell, après une période de vingt années où elle avait été accueillie avec quelque méfiance, venait de recevoir une confirmation expérimentale grâce aux travaux de Hertz, et était adoptée par la plupart des physiciens.<sup>2</sup>

Cependant quelques lacunes y subsistaient encore, je signalerai seulement les deux principales.

Le phénomène de l'aberration de la lumière était bien expliqué dans ses traits généraux ; mais pourquoi aucune expérience d'optique faite sur la Terre ne pouvait-elle mettre en évidence le mouvement de cette planète, et cela quel que soit le phénomène optique mis en jeu, diffraction, interférence, réflexion, dispersion ou double réfraction ? L'explication classique était impuissante à en rendre compte d'une façon satisfaisante. Quant à la théorie de Hertz, elle était contredite par l'expérience de Fizeau sur l'entraînement des franges.<sup>3</sup>

D'un autre côté, la polarisation rotatoire magnétique, découverte par Faraday, n'avait pas non plus été expliquée ; et les efforts de Maxwell, malgré la puissance de génie dont ils témoignaient, avaient sur ce point été impuissants. Il n'avait pu éviter de tomber dans de flagrantes contradictions. Chose étrange, c'était l'expérience de Faraday qui nous avait la première révélé les liens intimes de la lumière et de l'électricité, et c'était celle où venait se heurter la première théorie électromagnétique de la lumière.

<sup>a</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens – Nobelkomitéer – Inkom den 31.1 1902".

Tel était l'état des choses quand M. Lorentz a abordé la question. On sait de quelle hypothèse il est parti et quelle en était la simplicité. D'après lui, les charges électriques seraient invariablement liées à certaines particules matérielles très ténues appelées électrons. Ces électrons se déplaceraient en transportant avec eux une charge invariable. Mais tandis qu'ils pourraient circuler sans obstacles dans les corps dits conducteurs, ce qui produirait les courants voltaïques, leur déplacement dans les milieux diélectriques seraient limités car ils auraient à surmonter une résistance élastique qui croîtrait rapidement avec le déplacement et ne tarderait pas à l'arrêter.

Ce que vaut cette hypothèse en elle-même, nous n'en savons rien et nous n'en saurons jamais rien. Mais ce que nous devons nous demander c'est si cette hypothèse s'est montrée féconde et utile, soit en permettant de coordonner les faits anciens, soit en en faisant prévoir de nouveaux.

D'abord la théorie de Lorentz explique tout ce qu'expliquait déjà celle de Maxwell ; elle laisse subsister entre l'optique et l'électricité cette intime connexion découverte par l'illustre savant anglais. Ce sont là des mérites en quelque sorte négatifs sur lesquels il n'y a pas lieu d'insister.

Mais de plus, elle comble les deux lacunes graves que nous avons signalées plus haut. Le phénomène de l'aberration, et de l'entraînement partiel de l'éther et des ondes par la matière en mouvement reçoivent enfin une explication satisfaisante. Ce n'est pas l'éther qui est partiellement entraîné, ce sont les électrons et l'étude de la réaction mutuelle de l'éther en repos et des électrons en mouvement rend compte de toutes les particularités observées. Pourquoi par exemple, toutes les expériences tentées pour mettre en évidence le mouvement de la Terre, ont-elles données des résultats négatifs ? Il était évident qu'il y avait à cela une raison générale ; cette raison, M. Lorentz l'a découverte et il l'a mise sous une forme frappante par son ingénieuse invention du « temps réduit ». Deux phénomènes qui se passent en deux lieux différents peuvent paraître simultanés bien qu'ils ne le soient pas ; tout se passe comme si l'horloge d'un de ces lieux retardait sur celle de l'autre et comme si aucune expérience concevable ne pouvait faire découvrir cette discordance. Or l'effet du mouvement de la Terre serait seulement, d'après M. Lorentz, de faire naître une semblable discordance qu'aucune expérience ne pourrait révéler.<sup>4</sup>

Nous ne pouvons entrer ici dans plus de détails et nous devons nous contenter de ces indications sommaires. Nous nous bornerons à dire que cette explication concilie tout naturellement un grand nombre de faits observés, en apparence contradictoires.

Il en est de même en ce qui concerne la polarisation magnétique de Faraday, qui est la seconde des lacunes dont nous avons parlé ci-dessus. L'explication est toute naturelle et semble découler immédiatement des hypothèses fondamentales.

Mais ici se présente une circonstance bien digne d'attention.

Ces mêmes hypothèses conduisaient en même temps à prévoir un phénomène que personne jusque là n'avait observé. Un champ magnétique intense devait avoir une influence non seulement sur la propagation, mais sur l'absorption et l'émission de la lumière.

On sait que cette prévision n'a pas tardé à être confirmée par la mémorable expérience de Zeeman.<sup>5</sup>

Des expériences ultérieures ont montré que le phénomène n'était pas aussi simple qu'on l'avait cru d'abord. On a pu croire un instant que ce déplacement des raies spectrales, que

M. Lorentz avait prévu et qui avait semblé une confirmation éclatante de sa théorie, allait au contraire en déterminer la ruine. Ce que M. Lorentz avait annoncé en effet, c'était la formation de trois raies ; au lieu de cela on en voyait quatre ou davantage. Mais la théorie de Lorentz s'est au contraire très facilement adaptée à ces particularités qu'elle n'avait pas prévues. De légères modifications aux hypothèses primitives en ont facilement rendu compte.<sup>6</sup>

D'un autre côté, cette théorie convenablement approfondie, faisait prévoir certaines dissymétries qui avaient échappé à l'attention des premiers observateurs, et depuis un physicien italien en a reconnu la réalité.<sup>7</sup>

Ainsi M. Lorentz a prêté le phénomène principal et en a amené la découverte, il a rendu compte de particularités qu'il n'avait d'abord pas prévues, et en même temps il en a annoncé d'autres qui sans cela auraient longtemps échappé aux physiciens. Mais surtout, il a, dès le début, mis en pleine lumière le rapport étroit qui lie le phénomène nouveau de Zeeman avec la découverte ancienne de Faraday.

On accuse les théories d'être fragiles, et sans doute, si elles prétendaient nous révéler le fond des choses, la vue de tant de ruines suffirait pour nous rendre sceptique. Mais, quand la théorie de Lorentz aura rejoint ses devancières dans ce vaste cimetière, est-ce que les faits qu'elle a prévus et que par là elle a fait découvrir ne subsisteront pas toujours ? Et si un jour elle venait à être abandonnée, combien se tromperaient ceux qui diraient, si elle a prévu des faits vrais, ce n'est que par hasard, puisqu'elle était fausse. Non, ce n'est pas par hasard, c'est parce qu'elle nous a révélé des rapports jusque là inconnus entre des faits en apparence étrangers les uns aux autres, et que ces rapports sont réels ; et qu'ils le seraient encore quand même les électrons n'existeraient pas. Voilà quelle sorte de vérités on peut espérer trouver dans une théorie, et ces vérités lui survivront. C'est parce que nous croyons que les travaux de Lorentz contiennent beaucoup de vérités de ce genre que nous vous proposons de les récompenser.<sup>b</sup>

Poincaré

Membre de l'Institut de France<sup>c</sup>

G. Lippmann, A. Cornu, G. Mittag-Leffler

E. Sarrau      L. Fuchs

L. Cailletet    K. Birkeland

J. Boussinesq   M. Planck

J. Violle      L. Lundquist

H. Becquerel   W.C. Röntgen

Nous adhérons à la proposition faite en faveur de M. le Professeur Lorentz pour le prix Nobel de Physique.<sup>d</sup>

E. Sarrau   L. Cailletet   J. Boussinesq   J. Violle   Henri Becquerel

#### ADS 5p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.

<sup>b</sup>Variante : "la théorie de Lorentz".

<sup>c</sup>Les signataires du document comprennent certains qui ont signalé leur soutien en mettant leur signature sur une feuille à part (Sarrau, Cailletet, Boussinesq, Violle, Becquerel). D'autres ont communiqué leur soutien par télégramme à Mittag-Leffler (Fuchs, Birkeland, Planck, Lundquist), ou à Hasselberg (Röntgen) ; ces noms ont visiblement été inscrits par Mittag-Leffler.

<sup>d</sup>Cette phrase, de la main de Poincaré, figure sur une feuille à part.



<sup>1</sup>Poincaré a été chargé par G. Mittag-Leffler de soutenir la candidature de Lorentz au prix Nobel de physique ; voir (Poincaré, 1999, §§181, 183, 186).

<sup>2</sup>A propos de cette confirmation, voir la correspondance avec Hertz (§30), Birkeland (§ 5), Bjerknes (§ 6), Blondlot (§ 9), Cornu (§ 16), Perot (§ 46), et Sarasin (§ 52).

<sup>3</sup>Il s'agit de l'électrodynamique des corps en mouvement de Hertz (1890a).

<sup>4</sup>Le "temps réduit" correspond au temps local de Lorentz, pris en considération par Poincaré lors de son cours de 1899–1900 (1901a, 530–535). Il a calculé la différence entre le temps local pour un observateur terrestre et le temps "vrai" de l'éther, et montré qu'elle est trop faible pour être appréciée. Voir aussi sur ce sujet la correspondance avec Potier (§ 48.13), note 5. Comme le remarque Darrigol (1995), Poincaré introduit une définition opérationnelle du temps local, où deux horloges en mouvement uniforme commun sont synchronisées à travers l'échange de signaux optiques (1900a ; 1916–1956, IX, 483).

<sup>5</sup>Pieter Zeeman et H.A. Lorentz partageront le prix Nobel de physique en 1902. Il s'agit de la découverte et de l'explication de l'effet Zeeman (§ 61).

<sup>6</sup>Des raies quadruplets sont mises en évidence par Preston à la fin de 1897, et des sextuplets par Cornu en 1898 (Whittaker, 1951–1953, I, 413). Comme le remarque Buchwald (1985), Lorentz (1899b) et Poincaré (1899c) ont divergé à propos de l'explication des quadruplets. L'explication rigoureuse de ce qu'on appellera plus tard l'effet Zeeman anomal se sert du concept de spin ; elle ne sera pas obtenue au sein de l'électrodynamique classique.

<sup>7</sup>A partir de la théorie de Lorentz, Augusto Righi (1900) explique le comportement des raies lorsque le rayon lumineux est incliné par rapport aux lignes de force magnétique.

## 62.8 Allocution devant la société française de physique

[16.01.1903]<sup>1</sup>

Messieurs,

En quittant ce fauteuil, je tiens à vous remercier encore une fois de l'honneur que vous m'avez fait en m'y appelant. Grâce à votre bienveillance, grâce au zèle et au dévouement de notre Secrétaire général, ma tâche a été facile autant qu'elle était agréable.

La mort, l'année dernière, avait frappé cruellement dans nos rangs et nous avait enlevé quinze des nôtres ; cette année, elle a été plus clémente et nous n'avons à déplorer que neuf décès. Ce sont ceux de MM. Somzée, ingénieur honoraire des mines à Bruxelles ; de Hugon, ingénieur ; du Dr Leroy, médecin major de 1<sup>re</sup> classe en retraite, chef du service scientifique des ateliers Nacet ; de M. Bonavita, professeur au lycée de Bastia ; de Trouvé, l'ingénieur constructeur bien connu ; de Bandsept, ingénieur à Bruxelles, du Dr Fricker ; enfin du Dr Hénocque, directeur adjoint au laboratoire de physique biologique au Collège de France, physiologiste et physicien dont vous vous rappelez les intéressantes expériences en ballon. Malheureusement, si la liste est relativement courte, les pertes que nous avons faites sont particulièrement cruelles, et l'une d'elles, celle de M. Cornu, nous a douloureusement frappés, non seulement parce qu'elle était soudaine et inattendue, mais à cause des services que ce savant avait rendus à la Science et à la Société.<sup>2</sup>

D'autre part, 29 membres ont démissionné ou ont dû être regardés comme démissionnaires. Mais ces pertes ont été largement compensées et nous avons compté cette année 70 admissions nouvelles ; l'année dernière il n'y en avait eu que 51 ; notre nombre s'est donc accru de 22 unités ; c'est une croissance lente mais continue, comme celle d'un corps jeune et sain, et elle prouve que notre société est vivante et prospère. Pour en apprécier la valeur, il ne faut pas oublier que les membres qui nous ont quitté par démission ou



radiation étaient évidemment les moins actifs d'entre nous et que leurs remplaçants nous apportent au contraire toute l'ardeur des néophytes.

Au sujet de ces admissions nouvelles, j'ai à vous signaler un élément nouveau ; pour la première fois des dames ont forcé notre porte et nous ne saurions trop nous en féliciter. Les progrès rapides qu'a faits l'instruction féminine rendaient cette innovation inévitable. Je n'ai pas à vous rappeler que l'une de vos nouvelles collègues porte un nom qui nous est doublement cher.<sup>3</sup>

J'ai la satisfaction de constater devant vous de nouveau le bon état de nos finances. Au 1<sup>er</sup> décembre 1901, nous avions, déduction faite d'un reliquat de mémoire dû à M. Gauthier-Villars, une encaisse nette de 800 francs à peu près. Au 1<sup>er</sup> décembre 1902, la somme correspondante en diffère de quelques francs seulement. Notre budget semble ainsi voisin de sa position d'équilibre.<sup>4</sup>

Cette situation, nous la devons avant tout au dévouement de notre Trésorier, et je dois remercier également la Commission des comptes, qui, comme les années précédentes, s'est si bien acquittée de sa tâche.

Mais cette année, j'ai d'autres remerciements à adresser ; nous avons reçu de M. Guébard une nouvelle libéralité, et j'en dirai bien d'avantage à ce sujet si M. Guébard n'assistait à la séance ; d'autre part, un nouveau donateur nous a envoyé 2000 francs ; je regrette qu'il ait tenu à rester anonyme ; adressons lui toujours, sans le nommer, l'assurance de notre reconnaissance.

L'affectation future de ces dons n'est pas encore définitivement arrêtée ; ce qui est certain, c'est qu'ils serviront, non à donner des prix à ceux qui ont travaillé, mais à aider ceux qui travaillent.

A quelque point de vue que nous nous placions, nous devons nous féliciter de la situation de notre Société, qui entre aujourd'hui dans sa 30<sup>e</sup> année d'existence, mais c'est surtout notre activité scientifique croissante qui doit nous réjouir.

Nos séances sont plus fréquentes que jamais ; les communications plus nombreuses et plus intéressantes ; notre Exposition de Pâques a eu le plus grand succès.

Mais ce ne sont pas là les seuls services que nous rendons ; nous venons par mille moyens en aide aux travailleurs.

Je ne les énumérerai pas tous, mais permettez moi e vous rappeler une œuvre très utile, qui fait le plus grand honneur à M. Abraham, qui l'a conçue et en a commencé l'exécution.<sup>5</sup>

Je veux parler de notre Recueil d'expériences. Cette publication sera particulièrement précieuse pour les professeurs de nos collègues, au moment où l'Administration universitaire fait de si louables efforts afin de développer les manipulations des élèves ; mais elle ne sera pas sans intérêt, même pour des physiciens de profession. Déjà notre Secrétaire général a reçu de nombreuses communications ; tous les matériaux sont prêts, il se charge de la construction, et, avec cet architecte, nous sommes certains que le bâtiment sera bon. Ainsi tous aurons mis en commun le fruit de leur travail ; c'est bien là une œuvre collective, une œuvre de solidarité scientifique qu'une Société comme la nôtre pouvait seule entreprendre et qui en démontre l'utilité. Remercions donc nos collaborateurs qui ont répondu avec tant d'empressement à notre appel.

Je ne veux pas énumérer toutes les communications qui ont été faites pendant nos séances. Ce défilé de titres serait bien aride, et d'ailleurs, je ne veux pas faire concurrence à M.

Donniez, qui rédige si bien les procès-verbaux.

Quelques réflexions pourtant; et d'abord permettez moi de constater que deux de ces communications sont venues d'Asie; c'est bien une partie du monde qui veut rattraper le temps perdu. M. Nagaoka nous a donné une étude sur la magnétostriction des aciers au nickel. C'est M. Guillaume qui nous l'a présentée, et il avait bien quelque droit à cet honneur; et puis, à la séance de Pâques, M. Bose nous a fait une intéressante conférence qui devait une saveur toute particulière à je ne sais quel mélange de ce sens profond de la matière, qui distingue les Anglo-Saxons, et du mysticisme métaphysique des Hindous.<sup>6</sup> Je remarquerai aussi la place qu'ont prise les études physiques qui intéressent la physiologie, l'optique physiologique, et en particulier la stéréoscopie, la mesure de l'acuité auditive et même l'examen des liquides de l'économie humaine et des cultures bactériennes par la cryoscopie et la résistivité. D'ailleurs, si nous venons en aide aux physiologistes, ceux-ci nous le rendent bien, témoin l'intéressante communication de M. Marey sur les mouvements de l'air étudiés par la photographie.<sup>7</sup>

Si j'ajoute d'ailleurs que les applications de la physique, de toute espèce, ont donné lieu à de nombreux travaux, et que nous n'avons négligé non plus ni l'optique physique ou géométrique, ni l'électricité, ni les propriétés moléculaires des corps, ni la chimie physique, je vous aurai donné une idée de la variété de nos études.

Avant de renoncer à la parole, permettez moi encore de remercier M. Sandoz de son dévouement à la Société, et il ne me restera plus qu'à céder le fauteuil à M. Gariel.<sup>8</sup>

#### **PTrL. Poincaré (1903a).**

<sup>1</sup>Poincaré prononce ce discours de fin de mandat présidentiel à la séance du 16 janvier 1903.

<sup>2</sup>Alfred Cornu (§ 16).

<sup>3</sup>Marie Curie (§ 18), épouse de Pierre Curie (§ 19). Poincaré soutiendra bientôt la candidature de celui-ci pour le prix Nobel de physique (§ 62.9).

<sup>4</sup>Albert Gauthier-Villars, directeur de la maison d'édition du même nom.

<sup>5</sup>Henri Abraham (1868–1943) est directeur du laboratoire de physique à l'École normale supérieure.

<sup>6</sup>Hantaro Nagaoka (1865–1950), professeur de physique à l'université de Tokyo; Ch.-Édouard Guillaume (§ 28); J.C. Bose (1858–1937), professeur de physique à Presidency College, Calcutta. Le cohéreur de ce dernier a été remarqué par Poincaré dans son rapport sur la thèse de Gutton (§62.5).

<sup>7</sup>Étienne-Jules Marey (1830–1904) est professeur d'histoire naturelle des corps organisés au Collège de France, et membre de la section de médecine et chirurgie de l'Académie des sciences.

<sup>8</sup>Albert Sandoz est préparateur de physique à la faculté de médecine de Paris (*Bulletin des séances de la société française de physique* 1902), où C.-M. Gariel (§24) est professeur de physique médicale.

## **62.9 Poincaré et al. au Comité Nobel**

[Ca. 24.01.1903]<sup>e</sup>

L'une des découvertes les plus importantes qui aient été faites en Physique dans ces dernières années est celle de la radio-activité de la matière. Il s'agit en effet d'un fait absolument nouveau et qui touche à la fois aux propriétés les plus intimes de la matière et à celle de l'éther. Ce qu'il conserve encore de mystérieux n'est qu'une raison de plus d'espérer qu'on en tirera encore des découvertes intéressantes et inattendues.

<sup>e</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 27.1.1903".

Cette découverte est due à MM. Becquerel et Curie.

A la suite de la découverte des rayons X, M. Becquerel eut l'idée de rechercher si les corps phosphorescents n'émettraient pas des radiations analogues ; il opéra sur les sels d'urane et reconnut en effet qu'ils émettaient des rayons susceptibles d'impressionner les plaques photographiques à travers les corps opaques. Mais tandis que la lumière ordinaire émise par ces sels ne prend jamais naissance que sous l'influence d'une lumière excitatrice extérieure, les radiations nouvelles se produisent au contraire spontanément et sans cause excitatrice connue ; cette propriété semble se conserver indéfiniment, sans affaiblissement appréciable.

Les rayons Becquerel peuvent se manifester par l'action sur la plaque photographique et par la décharge des corps électrisés.

M. Becquerel se servit de ces deux moyens d'investigation pour étudier le phénomène nouveau ; il ne tarda pas à constater l'hétérogénéité du rayonnement.

Un autre fait important c'est que tous les sels d'uranium jouissent de cette même propriété qui semble ainsi avoir un caractère moléculaire ; cette constatation conduisit M. Becquerel à essayer l'uranium métallique qui se montra plus actif que ses sels.

En 1898, M. Curie s'occupa à son tour de cette question et étudia différents minerais d'uranium et de thorium dont quelques-uns leur parurent doués d'une radioactivité particulièrement intense.

Il fut ainsi conduit à isoler deux corps nouveaux, le polonium 400 fois plus actif que l'uranium et le radium 900 fois plus actif que l'uranium et dont les radiations étaient susceptibles, comme les rayons X, d'exciter la fluorescence du platino-cyanure de baryum. Cette découverte donna une nouvelle impulsion aux recherches sur la radioactivité. Malheureusement, dès que l'importante propriété reconnue par M. Curie eut été publiée, le minerai d'où le radium peut être extrait fut immédiatement accaparé de sorte que MM. Becquerel et Curie faillirent être privés du fruit de leur travail. Néanmoins s'étant procuré à grand peine quelques décigrammes de cette précieuse matière, ils ne se découragèrent pas et poursuivirent leurs études, tantôt ensemble, tantôt séparément. Souvent ils hésitaient à entreprendre une expérience dans la crainte de perdre une parcelle de cette substance qu'ils n'auraient pu renouveler facilement. Bien que leurs concurrents, favorisés par l'accaparement, n'eussent pas à compter avec cette difficulté, les deux savants ne se laissèrent pas devancer.

Ils reconnurent d'abord que les rayons nouveaux possèdent, comme les rayons X, la propriété d'exciter des rayons secondaires en frappant des corps solides, ce qui donne lieu à des phénomènes que l'on pourrait d'abord être tenté d'assimiler à une réflexion ou à une réfraction.

En décembre 1899, M. Becquerel observa l'action du champ magnétique sur les rayons du radium ; cette même action avait été constatée peu de temps auparavant par M. Giesel, mais les deux recherches sont tout à fait indépendantes l'une de l'autre.<sup>1</sup>

MM. Becquerel et Curie entreprirent alors l'étude détaillée du nouveau phénomène et mirent en évidence les lois de la déviation qui sont les mêmes que celles des rayons cathodiques. Cela fournissait un nouveau moyen de discerner les différentes sortes de rayons qui se distinguent par leur déviabilité magnétique, par leur pénétration plus ou moins grandes et aussi par la persistance du rayonnement ; car si les radiations du radium

et de l'uranium subsistent indéfiniment sans s'affaiblir, il n'en est pas de même de celles du polonium.

Le radium émet d'ailleurs des radiations de toutes sortes, les unes non déviables et très pénétrantes, les autres déviables et moins pénétrantes, les autres enfin, non déviables et très peu pénétrantes.

Les recherches des deux savants allaient bientôt faire ressortir de nouvelles analogies entre les rayons cathodiques et les rayons Becquerel.<sup>f</sup> Ceux-ci en effet sont, comme les premiers, déviables par un champ électrique, et transportent avec eux de l'électricité négative. La comparaison de ces phénomènes permettait de calculer la vitesse dans l'hypothèse de l'émission. Cette vitesse fut trouvée comparable à celle de la lumière ; et d'autre part on reconnut que la quantité de matière enlevée par l'émission n'était que d'un milliagramme en un milliard d'années.

Je ne parlerai pas d'une foule d'autres expériences de détail, mais il est nécessaire de signaler le phénomène de la radioactivité induite, qui présente un caractère très mystérieux ; le radium semble capable de transmettre sa radioactivité à d'autres corps voisins, même à travers des espaces capillaires.

En résumé, la radioactivité est un phénomène physique entièrement nouveau, que rien ne pouvait faire prévoir il y a quelques années et dont l'importance est considérable. La découverte première appartient incontestablement à MM. Becquerel et Curie et c'est à eux également que nous devons la connaissance de la plupart des propriétés des radiations nouvelles, malgré les difficultés que leur causait la rareté de la matière première.

Il nous paraît impossible de séparer les noms des deux physiciens et en conséquence nous n'hésitons pas à vous proposer de partager le prix Nobel entre MM. Becquerel et Curie.<sup>2</sup>

Poincaré de l'Institut É. Mascart de l'Institut C. Wolf de l'Institut M. Levy de l'Institut G<sup>al</sup> Bassot de l'Institut G. Lippmann O. Callandreau de l'Institut A. Haller de l'Institut G. Lemoine de l'Institut É. Picard de l'Institut R. Radau de l'Institut A. de Lapparent de l'Institut E.H. Amagat de l'Institut L. Cailletet de l'Institut G. Humbert de l'Institut Paul Appell de l'Institut J. Violle de l'Institut G. Darboux H. Deslandres de l'Institut M. Loewy

**ADS 3p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences. Transcrite dans Poincaré (1999, § 205, note 3).**

<sup>1</sup>Becquerel (1899a); Giesel (1899).

<sup>2</sup>Le 25.01.1903, Pierre Curie écrit à Poincaré (§ 19.2) afin d'exprimer sa "solidarité" avec son épouse Marie Curie. Le prix Nobel de physique sera finalement decerné par moitié à Henri Becquerel, et par moitié au couple Curie. A ce propos, voir Crawford (1984a, 141).

<sup>f</sup>Variante : "... de nouvelles analogies entre les rayons Becquerel et les rayons cathodiques".

## 62.10 G. Darboux au Comité Nobel

Paris, le 17 Janvier 1904<sup>g</sup>

INSTITUT DE FRANCE – ACADEMIE DES SCIENCES

Invité par le Comité Nobel de Physique à proposer des candidats pour le prix Nobel de Physique j'appelle son attention bienveillante sur les deux savants suivants

1° M. Henri Poincaré qui, dans ses Ouvrages de physique mathématique a développé une foule de théories originales et de vues fécondes et, par là, grandement servi les progrès de la Physique. Je signalerai plus particulièrement son dernier Ouvrage *Électricité et optique* qui contient une foule de vues du plus haut intérêt.<sup>1</sup>

2° M. Gabriel Lippmann professeur de physique à la Sorbonne, membre de l'Institut, pour sa belle découverte de la *Photographie des Couleurs*.<sup>2</sup>

G. Darboux – Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Paris.

**ALS 2p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Poincaré (1901a).

<sup>2</sup>Le prix Nobel de physique sera décerné à Lippmann en 1908 pour sa méthode de reproduction photographique des couleurs à partir du phénomène de l'interférence.

## 62.11 H. Becquerel au Comité Nobel

Paris le 26 Janvier 1904<sup>h</sup>

Monsieur,

Vous m'avez fait l'honneur de me demander de vous présenter des propositions pour le prix Nobel de Physique à décerner en 1904. Je crois devoir appeler votre attention, soit pour cette année, soit pour l'avenir, sur deux de mes confrères de l'Académie des Sciences, tous deux professeurs à la Faculté des Sciences de Paris, M<sup>r</sup> *Gabriel Lippmann* pour sa découverte de la photographie des couleurs par la méthode interférentielle, et M<sup>r</sup> *Henri Poincaré* pour son ouvrage intitulé "*Electricité et Optique*."<sup>1</sup>

La méthode découverte par M<sup>r</sup> Lippmann, n'est pas seulement une application d'une rare élégance dans un domaine restreint de la Physique. Elle constitue une méthode dont la portée considérable sera certainement reconnu plus tard, lorsque, après quelques perfectionnements, on verra qu'elle permet d'enregistrer à un moment donné toutes les propriétés d'un rayon lumineux, qui sont exclusivement fonction de son intensité et des périodes des mouvements qui le constituent.

C'est ainsi qu'on retrouvera dans les couleurs des objets photographiées, les bandes spectrales d'absorption et les autres propriétés spectrales de la lumière qu'ils renvoyaient ou qu'ils émettaient au moment où l'on a fixé leur image, et ce renseignement rétrospectif pourra devenir un document d'une valeur scientifique considérable.<sup>2</sup>

<sup>g</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 29.1.1904".

<sup>h</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 31.1.1904".

Dans son ouvrage *“Electricité et Optique”* M<sup>r</sup> Henri Poincaré a suivi depuis quatorze ans tout le mouvement scientifique moderne et il a mis l’empreinte de son génie mathématique et philosophique sur toutes les théories de la physique, montrant par quels points elles se touchent, et cherchant à dégager la part de vérité que contient chacune d’elles.<sup>3</sup> Une telle œuvre est de celles qui contribuent le plus aux progrès des connaissances humaines en fournissant aux chercheurs un appui solide pour pénétrer dans les régions inconnues.

Je ne saurais terminer cette lettre sans exprimer encore une fois au Comité Nobel de Physique toute ma gratitude pour le grand honneur qu’il a bien voulu faire à mes travaux l’année dernière, et pour le prier d’agréer avec tous mes remerciements l’assurance de mes sentiments les plus dévoués.<sup>4</sup>

Henri Becquerel

**ALS 2p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Poincaré (1901a).

<sup>2</sup>Lippmann aura le prix Nobel de physique en 1908.

<sup>3</sup>1901a.

<sup>4</sup>Voir la lettre de soutien de Becquerel et P. Curie pour le prix Nobel de physique (§62.9).

## 62.12 G. Darboux au Comité Nobel

[25.02.1905]<sup>i</sup>

INSTITUT DE FRANCE – ACADÉMIE DES SCIENCES

Prix Nobel de physique

Je renouvelle mes propositions de l’année dernière où je signalais à l’attention de la Commission les travaux de physique mathématique d’Henri Poincaré et les recherches expérimentales de Gabriel Lippmann.<sup>1</sup>

G. Darboux

**ALS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Voir sa lettre de soutien du 17.01.1904 (§ 62.10).

## 62.13 H. Becquerel au Comité Nobel

30 janvier 1905<sup>j</sup>

Paris 6 rue Dumont-d’Urville

A MM. les Membres du Comité Nobel de Physique de l’Académie Royale des Sciences de Suède

Messieurs,

<sup>i</sup>Le manuscrit porte un cachet : “K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 25.2.1905”, ainsi qu’une annotation au crayon : “Post stämpel i StkIm : 25.2.05”.

<sup>j</sup>Le manuscrit porte un cachet : “K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 3.2.1905”.

Vous m'avez fait l'honneur de me demander une proposition pour le prix Nobel de Physique à décerner en 1905.

Le Candidat que je voudrais pouvoir vous proposer est M<sup>r</sup> le Professeur René Blondlot qui, en découvrant les rayons N, me paraît avoir fait l'œuvre la plus récente et la plus importante dans le domaine de la physique. Malheureusement la difficulté de répéter les expériences, et les insuccès de plusieurs expérimentateurs, ont créé dans divers milieux scientifiques un courant d'incrédulité fâcheux. Celle-ci se transformera bientôt, je l'espère en une plus juste appréciation des *mérites* de M<sup>r</sup> Blondlot ; cependant, en présence de ces divergences d'opinion, je crois devoir ajourner cette proposition.<sup>1</sup>

Je vous renouvelle donc les propositions que je vous avais faites l'année dernière en faveur de deux savants éminents, M<sup>r</sup> Lippmann et M<sup>r</sup> H. Poincaré, qui seront successivement des candidats tout *désignés* quand les circonstances vous amèneront à choisir un Français dans l'ordre de la Physique expérimentale ou de la Physique mathématique.<sup>2</sup>

J'ajouterai que si, cette année, il vous paraissait opportun de rechercher un candidat d'une autre nationalité, M<sup>r</sup> Righi, par l'ensemble de ses beaux travaux me paraît tout indiqué parmi les physiciens Italiens.

Veuillez, Messieurs, agréer, avec mes souvenirs les plus reconnaissants pour l'accueil que vous m'avez fait il y a un an, l'expression de mes sentiments les plus distingués et les plus dévoués.

Henri Becquerel

#### ALS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.

<sup>1</sup>Les rayons N de René Blondlot sont définitivement discrédités à la fin de l'année 1904 (§9).

<sup>2</sup>Voir la lettre de soutien du 26.01.1904 (§ 62.11).

## 62.14 Poincaré au Comité Nobel

Paris, 24 Janvier 1905<sup>k</sup>

Monsieur le Président,

Nous avons l'honneur de vous proposer pour le prix Nobel (Physique) Monsieur le Professeur Righi (de Bologne) ; nous joignons à notre lettre un rapport détaillé, et une note biographique et bibliographique.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de notre considération la plus distinguée,

Poincaré

Rapport sur l'œuvre de M. Righi.

Nous avons l'honneur de proposer M. Righi pour le prix Nobel de Physique à cause de ses travaux sur les ondes hertziennes de très faible longueur.<sup>1</sup>

<sup>k</sup>Le manuscrit porte un cachet de reception : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 26.1.1905".

Hertz venait de confirmer la théorie de Maxwell par ses mémorables expériences ; mais bien des points restaient à éclaircir, et l'identité de la lumière et des radiations électromagnétiques n'apparaissait pas encore avec la dernière évidence ; la différence des longueurs d'onde était encore trop grande en effet pour que les phénomènes fussent complètement analogues ; il aurait fallu pour que l'identité fut complète, donner aux appareils des dimensions colossales.<sup>2</sup> Hertz n'avait pas en effet fait descendre la longueur d'onde au dessous de 50 ou 60 centimètres.

Righi construisit un excitateur donnant des ondes beaucoup plus courtes, et où l'étincelle éclatait dans l'huile entre deux petites sphères. Il fallait aussi un résonateur approprié ; Righi imagina de se servir d'une plaque de verre portant une argenteure interrompue par un trait au diamant ; c'est dans cette interruption que l'étincelle éclate ; elle est très courte et ne peut être observée qu'au microscope ; c'est là un appareil extrêmement délicat, qui révèle les plus faibles radiations. Il est moins sensible que le cohéreur ; mais celui-ci le serait trop ; il répond toujours et par conséquent ne peut servir à des expériences de mesure.

Avec ces instruments, M. Righi a poursuivi l'étude de l'optique des rayons électriques ; il a retrouvé tous les phénomènes de l'optique ordinaire, réflexion, réfraction, diffraction, double réfraction, polarisation, interférences, etc. J'insisterai surtout sur deux points ; d'abord la réflexion totale ; on sait que les théories optiques indiquent que dans le cas de la réflexion totale, la perturbation pénètre dans l'air ; mais s'affaiblit très rapidement, de sorte qu'à une longueur d'onde de la surface réfléchissante, elle est devenue complètement insensible. C'est pour cela qu'on ne voit pas le rayon transmis et que nous pouvons parler de réflexion totale. C'est ce que Cauchy appelle les rayons évanescents.<sup>3</sup>

Il est très difficile en optique de mettre ces rayons en évidence. Quincke y est cependant parvenu, mais d'une façon indirecte avec un dispositif d'anneaux colorés.<sup>4</sup> Fresnel paraît avoir fait avant lui une expérience analogue sans l'avoir publiée (?) Ce qui est impossible avec les longueurs d'onde de spectre visible, devient possible avec les longueurs d'onde des radiations électromagnétiques. Righi a vérifié par ses méthodes l'existence des rayons évanescents et cela par une observation directe. Il a ainsi jeté une vive lumière sur une des questions les plus controversées de l'optique proprement dite.

La vérification des lois de Fresnel sur la réflexion et la réfraction ne se fit pas sans difficulté et au premier abord, M. Righi put croire qu'il se trouvait en présence de lois toutes différentes. Sa sagacité lui permit de découvrir la cause de ces perturbations. Un corps conducteur, ou même un diélectrique, placé dans un champ électromagnétique devient à son tour une source de radiation. Ces ondes secondaires, en venant interférer avec les ondes primitives qui leur ont donné naissance, amènent des apparences compliquées que Righi a eu beaucoup de mérite à débrouiller ; en tenant compte de cette complication, on retrouve les lois de Fresnel.

Si la lumière ordinaire s'amortissait rapidement comme les ondes électriques de façon à disparaître après quelques vibrations, nous observerions avec les rayons visibles des phénomènes analogues. Nous en retrouvons quelques traces dans la « diffraction éloignée » de Gouy et certaines interférences des rayons incidents et des rayons réfléchis sur un corps métallique, interférences observées autrefois par M. Fizeau.<sup>5</sup>

M. Righi avait donc réussi à rendre complète l'analogie des rayons lumineux visibles et



des rayons électro-magnétiques.

Il a joué, par là et par d'autres travaux encore, un grand rôle dans l'invention de la télégraphie sans fil ; il a été le maître de Marconi ; celui-ci a su, par son habileté d'homme d'affaires, et surtout par sa hardiesse, sa foi et sa persévérance, tirer un parti industriel des idées de son maître. Il en a tiré une juste récompense par sa notoriété dans le grand public et sa rapide fortune. Mais nous ne devons pas oublier ceux qui l'ont devancé et à qui nous devons l'idée ; qui, loin de réserver jalousement le secret de leurs découvertes, les ont immédiatement livrées tout entières au public. Sans ces hommes désintéressés, le progrès n'aurait pas été possible. Puisque nous ne pouvons plus récompenser Hertz, ravi par une mort prématurée, ne peut-on pas récompenser quelques-uns de ceux qui ont complété son œuvre.<sup>6</sup>

En dehors du travail particulier qui nous paraît justifier l'attribution du prix Nobel, M. Righi a fait de nombreuses recherches sur tous les points de la Physique, recherches dont on trouvera le détail dans la notice ci-jointe.

Nous citerons surtout des travaux sur les phénomènes de radioactivité, sur l'action des rayons X sur les corps électrisés ; dans cet ordre d'idées, ce qui nous paraît le plus remarquable, c'est l'ouvrage intitulé :

Sulle cariche elettriche generate dai raggi X sui metalli nel vuoto.<sup>7</sup>

Sur les charges électriques engendrées par les rayons X sur les métaux dans le vide.

Il y a là un dispositif expérimental dont il me semble qu'on pourrait tirer grand parti pour l'étude des rayons X.

L'étude des mouvements des ions a été l'objet de plusieurs mémoires ; et nous ferons remarquer que M. Righi, longtemps avant qu'on s'occupât des ions, avait déjà observé certains phénomènes que nous attribuons aujourd'hui à ces corpuscules.

Enfin Righi a contribué à nous faire mieux connaître le phénomène de Hall, en le rattachant aux variations de conductibilité du bismuth dans un champ magnétique, et en montrant que la conductibilité thermique était affectée de la même manière que la conductibilité électromagnétique ; et que les isothermes subissent une déformation tout à fait analogue au phénomène de Hall.<sup>8</sup>

Ces titres nous paraissent de nature à corroborer les raisons exposées plus haut.<sup>9</sup>

Poincaré

#### ALS 4p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.

<sup>1</sup> Augusto Righi (1850–1920) est professeur de physique à l'université de Bologne.

<sup>2</sup> Heinrich Hertz (§ 30).

<sup>3</sup> A propos des rayons évanescents, voir Poincaré (1889–1892, I, 63).

<sup>4</sup> Georg Quincke (1834–1924) est professeur de physique à l'université de Heidelberg.

<sup>5</sup> Georges Gouy et Hippolyte Fizeau. Pour une discussion, voir Poincaré (1889–1892, II, 222).

<sup>6</sup> Guglielmo Marconi sera récompensé en même temps que Ferdinand Braun par le prix Nobel de physique (1909) pour ses contributions au développement de la télégraphie sans fil. Il proposera Poincaré pour le prix Nobel de physique en 1910.

<sup>7</sup> Righi (1903).

<sup>8</sup> Poincaré (1899d) considère les rapports entre l'effet Hall, découvert par Edwin Hall (1855–1938) en 1879, et la théorie de Lorentz ; voir également *Électricité et optique* (1901a, 471).

<sup>9</sup> Le prix Nobel de physique de 1905 sera décerné à Philipp Lenard pour ses recherches sur les rayons cathodiques.

## 62.15 H. Becquerel au Comité Nobel

Paris le 12 février 1906<sup>1</sup>

A M<sup>r</sup> le Président du Comité Nobel de Physique à Stockholm

Mon cher Collègue,

Je viens d'être souffrant et je n'ai pu vous adresser avant le 1<sup>er</sup> février ma proposition annuelle pour le Prix Nobel de Physique en 1906. Comme il ne s'est rien produit de particulièrement nouveau dans notre domaine scientifique depuis l'année dernière, et que je me borne à rappeler mes propositions antérieures, je pense que ce retard n'aura pas d'importance.

J'appelle donc de nouveau l'attention du Comité Nobel de Physique sur deux œuvres scientifiques de premier ordre, 1° sur la découverte de la photographie en couleurs par M<sup>r</sup> *Lippmann*, découverte originale et complète, dont la portée me paraît dépasser les applications faites jusqu'ici ; 2° l'œuvre de physique mathématique de M<sup>r</sup> *Henri Poincaré*, universellement connue et appréciée.<sup>1</sup>

Je saisis cette occasion pour me rappeler à votre souvenir, et pour vous prier d'agréer, ainsi que vos collègues du Comité, avec l'expression de mes sentiments reconnaissants pour l'honneur qui m'a été fait il y a trois ans, l'assurance de mes sentiments les plus dévoués.<sup>2</sup>

Henri Becquerel

**ALS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Becquerel appuie les candidatures de Lippmann et Poincaré depuis 1904 (§§62.11, 62.13).

<sup>2</sup>Le prix Nobel de physique de 1903 fut décerné à Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie, avec l'appui de Poincaré (§ 62.9).

## 62.16 G. Darboux au Comité Nobel

PARIS, LE 5 février 1906<sup>m</sup>

UNIVERSITÉ DE PARIS – FACULTÉ DES SCIENCES – GÉOMÉTRIE SUPÉRIEURE  
36 rue Gay Lussac Paris

Messieurs,

Je suis un peu en retard pour vous faire mes propositions pour le prix Nobel de Physique, mais comme ces propositions sont les mêmes que celles que j'ai déjà faites, je pense que vous voudrez bien les accueillir. Parmi les physiciens qui m'entourent je vous signalerai particulièrement M. Gabriel Lippmann, qui, après s'être fait connaître par la découverte de tous les phénomènes d'électrocapillarité a donné dans ces derniers temps sa belle méthode de la photographie des couleurs, méthode qui repose sur les considérations théoriques les plus ingénieuses et les plus fines.

<sup>1</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 16.2.1906".

<sup>m</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 8.2.1906".

Si vous pensez qu'on peut faire une part aux savants qui, sans avoir fait eux-mêmes des expériences, ont provoqué beaucoup de recherches et développé la physique théorique, nul ne me paraît plus digne en ce moment de votre attention que M<sup>r</sup> Henri Poincaré, dont les travaux sur les équations aux dérivées partielles de la physique mathématique ont attiré l'attention de tous les chercheurs. M. Poincaré a parcouru le cercle entier de la physique mathématique comme le montrent les Ouvrages qu'il a successivement publiés

*Théorie mathématique de la lumière, Electricité et optique, Thermodynamique, Leçons sur la théorie de l'élasticité, Théorie des tourbillons, Les oscillations électriques, Capillarité, Théorie analytique de la propagation de la chaleur, Théorie du potentiel Newtonien.*<sup>1</sup>

Veuillez agréer, Messieurs, l'assurance de mes sentiments de haute considération.

G. Darboux – Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

**ALS 2p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Poincaré (1889–1892; 1901a; 1892i; 1892h; 1893c; 1894a; 1895a; 1895c; 1899f).

## 62.17 Poincaré et al. au Comité Nobel

Paris le 13 janvier 1908<sup>n</sup>

Monsieur le Président,

Les soussignés, membres de l'Académie des Sciences, ont l'honneur d'appeler de nouveau l'attention du Comité Nobel de Physique, sur les travaux de M<sup>r</sup> Gabriel Lippmann, membre de l'académie des Sciences et professeur à la Faculté des Sciences, travaux dont les plus récents témoignent une activité scientifique qui ne se ralentit pas, et dont l'ensemble place leur auteur au premier rang parmi les physiciens.<sup>1</sup>

Poincaré É. Mascart Henri Becquerel Président de l'académie des Sciences<sup>2</sup> G. Darboux Secrétaire perpétuel<sup>3</sup> A. de Lapparent Secrétaire perp<sup>1</sup> E.H. Amagat<sup>4</sup> L. Cailletet<sup>5</sup> Ed. Bornet<sup>6</sup> H. Deslandres<sup>7</sup> M. Levy<sup>8</sup>

**ALS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Le prix Nobel de physique sera décerné à Lippmann en 1908 pour sa méthode de reproduction photographique des couleurs à partir du phénomène de l'interférence. Voir aussi les lettres de nominations en faveur de Poincaré et Lippmann signées par Gaston Darboux (§§ 62.10, 62.12, 62.16), et par Henri Becquerel (§§ 62.11, 62.13, 62.15).

<sup>2</sup>Henri Becquerel envoie séparément une lettre d'appui pour Lippmann.

<sup>3</sup>Gaston Darboux envoie séparément une lettre appuyant la candidature de Lippmann.

<sup>4</sup>Émile-Hilaire Amagat (1841–1915), section de physique générale.

<sup>5</sup>Louis Cailletet (1832–1913), division d'académiciens libres de l'Académie des sciences.

<sup>6</sup>Édouard Bornet (1828–1911), section de botanique.

<sup>7</sup>Henri Deslandres (1853–1948), section d'astronomie.

<sup>8</sup>Maurice Levy (1838–1910), section de mécanique.

---

<sup>n</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 17.1 1908".

## 62.18 Poincaré à G. Darboux (fragment)

[Ca. 12.1908]

On peut prendre soit les mémoires sur les équations de la Physique Mathématique (*Rendiconti* et *Acta* Problème de Neumann) soit par exemple le mémoire sur la Polarisation par Diffraction (*Acta*).<sup>1</sup>

Quand à la note à laquelle vous faisiez allusion voici en quoi elle consiste.<sup>2</sup>

Est-il possible d'expliquer l'irréversibilité des phénomènes physiques par des actions à distance analogues à l'attraction newtonienne.

Deux tentatives ont été faites ; l'une est fondée sur les lois statistiques et la théorie cinétique des gaz.<sup>o</sup> L'autre est celle de Helmholtz, il veut expliquer l'irréversibilité par des mouvements cachés, produisant des espèces de force centrifuges composées. La note avait pour but de montrer l'inanité de cette dernière tentative.

**AL fragment 1p. MS 2720, 8.2, Bibliothèque de l'Institut de France. Transcrite dans Poincaré (1986, 136).**

<sup>1</sup>Poincaré (1894c, 1896b, 1892–1893, 1896–1897). Il s'agit sans doute de mémoires qui pourraient mériter le prix Nobel de physique. Secrétaire perpétuel pour les sciences mathématiques, Darboux soutient la candidature de Poincaré à Stockholm depuis 1904 (§ 62.10). Sa lettre de nomination pour le prix Nobel de 1909 (§ 62.21) ne suivra pas le conseil de Poincaré ; Darboux proposera que l'Académie suédoise des sciences décerne le prix Nobel de physique à Poincaré aussi bien pour son travail sur les équations de la physique mathématique que pour son mémoire sur la polarisation par diffraction. A ce propos, voir également la note de Poincaré du fonds Darboux (§ 62.19).

<sup>2</sup>Poincaré (1889).

## 62.19 Poincaré : Mes principaux ouvrages relatifs à la physique

[Ca. 06.1908]<sup>1</sup>

Mes principaux ouvrages relatifs à la Physique sont les suivants :

1° Deux mémoires sur les équations de la Physique Mathématique, publiés l'un dans l'*American Journal of Mathematics* et l'autre dans les *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*.<sup>2</sup>

2° Des notes sur l'équation des télégraphistes, sur la théorie de l'élasticité, etc.<sup>3</sup>

3° Un mémoire dans les *Acta Mathematica* sur la Polarisation par Diffraction.<sup>4</sup>

4° Mes leçons de Physique Mathématique faites à la Sorbonne et publiées chez Naud et dont les principaux sont :

*Théorie de la Lumière* 2 Volumes.<sup>5</sup>

*Électricité et Optique* 1re édition en 2 Volumes 2e édition en 1 Volume.<sup>6</sup>

*Thermodynamique*.<sup>7</sup>

*Théorie de la Propagation de la Chaleur*.<sup>8</sup>

*Les Oscillations Électriques*.<sup>9</sup>

<sup>o</sup>Variante : "les lois statistiques et la théorie-générale cinétique des gaz."

*Capillarité.*<sup>10</sup>

*Élasticité.*<sup>11</sup>

*Théorie des Tourbillons.*<sup>12</sup>

*Théorie du Potentiel Newtonien.*<sup>13</sup>

5° Un mémoire dans les *Acta Mathematica* sur la méthode de Neumann et le problème de Dirichlet.<sup>14</sup>

6° Diverses notes sur les ondes hertziennes dans les *Archives de Genève.*<sup>15</sup>

7° Des conférences faites à l'École de Télégraphie

8° Des articles sur la théorie cinétique des gaz dans la *Revue Générale des Sciences* et dans le *Journal de Physique.*

9° Des articles sur la théorie de Lorentz et le principe de réaction (*archives néerlandaises*) et sur la Dynamique de l'Électron (*Rendiconti di Palermo*)<sup>16</sup>

10° Des conférences de nature philosophique faites aux Congrès de Paris et de St Louis

11° De nombreux articles de vulgarisation dans la *Revue Générale des Sciences* et dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes.*

12° J'oubliais des notes des *Comptes Rendus* sur les rayons cathodiques.<sup>17</sup>

13° Des articles dans l'*Éclairage Électrique* sur le phénomène de Zeeman et sur des questions d'électrotechnique.<sup>18</sup>

#### Équations de la Physique Mathématique (1°, 2° et 5°)

Les mémoires cités ont préparé la découverte de Fredholm, en démontrant l'avantage qu'il y a à introduire un paramètre  $\lambda$  par rapport auquel la solution peut s'exprimer par une fonction méromorphe, en mettant en évidence le rôle des fonctions dites fondamentales, en permettant pour la première fois le calcul complet de la hauteur des différents sons émis par une membrane.<sup>19</sup> J'ai<sup>p</sup> indiqué plusieurs solutions du problème de Dirichlet ; j'ai montré la généralité et la véritable signification de la solution de Neumann.<sup>20</sup> Dans une note des *Comptes Rendus*, j'ai appliqué la méthode de Neumann au problème général de l'élasticité et montré qu'elle en donne une solution complète.<sup>21</sup> Nous reviendrons plus loin sur l'équation des télégraphistes.

#### Cours de Physique Mathématique (4°)

Ce cours a été professé pendant 10 ans de 1886 à 1896. Les volumes en question contiennent surtout une comparaison et un examen critique des différentes théories proposées. Dans la théorie mathématique de la Lumière, le fait que cette comparaison<sup>q</sup> met surtout en évidence c'est l'impossibilité de décider entre les deux sortes de théories optiques, celles qui regardent la vibration comme perpendiculaire au plan de polarisation et celles qui la regardent comme parallèle. Cette impossibilité est foncière et tient à la nature des choses. Ces volumes contiennent également des parties nouvelles en ce qui concerne la diffraction et la propagation rectiligne de la lumière.

*Électricité et Optique, les Oscillations Électriques* contiennent la discussion et la mise au point des théories de Maxwell, de Hertz, de Larmor, et de Lorentz.<sup>22</sup>

Dans la *Thermodynamique*, la partie nouvelle est la démonstration générale du théorème de Clausius (dont la généralité était alors contestée par Bertrand) et cela par deux voies.<sup>23</sup>

<sup>p</sup>Variante : "J'ai ~~montré~~".

<sup>q</sup>Variante : "... que cette comparaison ~~je montre avant tout le~~".

La *Théorie de la Propagation de la Chaleur* contient plusieurs procédés nouveaux pour les développements en séries de fonctions fondamentales.<sup>24</sup>

#### Polarisation par Diffraction (3°)

La théorie de Fresnel est purement géométrique ; je veux dire que si elle était rigoureuse, la nature des parois et même l'épaisseur des écrans, ne devraient exercer aucune influence sur les phénomènes. Les expériences de Gouy ont montré qu'il n'en est pas toujours ainsi. J'ai donné l'explication des faits observés par M. Gouy et montré combien dans certains cas la théorie de Fresnel devient insuffisante.<sup>25</sup> Depuis M. Sommerfeld a repris ma méthode pour étudier les cas intermédiaires entre les deux cas extrêmes : celui de Fresnel, qui est le plus ordinaire, et le cas de Gouy que j'avais étudié.<sup>26</sup>

#### Ondes Hertiennes (6°)

Parmi les différentes remarques que j'ai en l'occasion de faire au sujet des ondes hertiennes, je signalerai surtout la suivante. On a d'abord comparé les ondes hertiennes aux ondes sonores ou lumineuses ordinaires qui ne sont pas amorties. On a été ainsi conduit à des prévisions qui n'ont pas été confirmées par l'expérience, et ces contradictions ont paru à un certain moment fort embarrassantes. Tel a été par exemple le phénomène de la résonance multiple découvert par Sarasin et de la Rive.<sup>27</sup> J'ai montré le premier que ces contradictions s'expliquaient par l'amortissement des ondes.<sup>28</sup> Cette explication a été retrouvée un peu après, et je crois indépendamment par Bjerknes.<sup>29</sup> Le rôle de cet amortissement est d'ailleurs capital dans la théorie de la télégraphie sans fil. Je citerai aussi une note des *Comptes Rendus* où j'ai introduit, le premier, ou un des premiers (point à vérifier), la notion du potentiel retardé.<sup>30</sup>

#### Conférences de l'École de Télégraphie<sup>31</sup> (7°)

L'équation des télégraphistes nous fait connaître les lois de la propagation d'une perturbation électrique dans un fil. J'ai intégré cette équation par une méthode générale, applicable à un grand nombre de questions analogues. Le résultat varie suivant la nature des appareils récepteurs placés sur la ligne, ce qui se traduit mathématiquement par un changement dans les conditions aux limites ; mais la même méthode permet de traiter tous les cas.<sup>32</sup> Dans une seconde série de conférences, j'ai étudié le récepteur téléphonique ; un point que j'ai particulièrement mis en évidence, c'est le rôle des courants de Foucault dans la masse de l'aimant.<sup>33</sup>

Dans une troisième série de conférences j'ai traité les diverses questions mathématiques relatives à la Télégraphie sans fil. Émission, champ en un point éloigné ou rapproché, diffraction, réception, résonance, ondes dirigées, ondes entretenues.<sup>34</sup>

Ces conférences ont été publiées dans la collection des cours de l'École et reproduits dans l'*Éclairage Électrique*.

#### Théorie Cinétique des Gaz (8°)

Mon cours sur la théorie cinétique des gaz n'a pas été publié ; j'ai donné dans la *Revue Générale des Sciences* un article où j'examinais et où je réfutais certaines objections faites par lord Kelvin au théorème de Boltzmann-Maxwell.<sup>35</sup> Dans le *Journal de Physique* je cherche à concilier cette théorie avec l'irréversibilité des phénomènes, ce qui est la grande difficulté ;<sup>†</sup> et pour éclaircir la question j'examine ce qui se passerait dans diverses

<sup>†</sup>Variante : "... ce qui est le ~~point~~".

hypothèses, plus ou moins éloignées du cas de la nature, telles que seraient celle d'un gaz à une dimension, ou de gaz très raréfiés.<sup>36</sup>

#### Théorie de Lorentz (9°)

J'ai eu à examiner diverses conséquences de la théorie de Lorentz. J'ai montré qu'elle était incompatible avec le principe de l'égalité de l'action et de la réaction et comment il conviendrait de modifier ce principe pour le mettre d'accord avec cette théorie.<sup>37</sup> Ce résultat a servi de point de départ à Abraham pour ce calcul par lequel il a démontré que la masse des électrons est d'origine purement électrodynamique et que leur masse transversale diffère de leur masse longitudinale.<sup>38</sup> J'ai publié dans les *Rendiconti* un article où j'expose la théorie de Lorentz sur la Dynamique de l'Électron, et où je crois avoir réussi à écarter les dernières difficultés et à lui donner une parfaite cohérence.<sup>39</sup>

#### Rayons Cathodiques (12°)

Parmi ce que j'ai écrit sur les rayons cathodiques, je citerai seulement une note où j'ai déterminé la forme de ces rayons dans un champ magnétique intense et non uniforme. On s'est servi depuis fréquemment de ce résultat, dans les différentes théories de l'Aurore Boréale.<sup>40</sup>

#### Électrotechnique (13°)

J'ai traité dans quelques articles diverses questions d'électrotechnique ; j'ai mis en évidence le rôle des contacts glissants dans les phénomènes dits d'induction Unipolaire sur lesquels les techniciens discutaient à perte de vue ; j'ai montré que la théorie ordinaire de la commutation était inexacte ; d'un autre côté j'ai démontré rigoureusement et d'une manière générale l'impossibilité d'une machine autoexcitatrice sans collecteur, et sans condensateur.<sup>41</sup>

#### Conférences Philosophiques (10°)

Ce sont 1° la conférence faite au Congrès de Physique en 1900 et reproduite dans *Science et Hypothèse* 2° La conférence de St. Louis reproduite dans *la Valeur de la Science*.<sup>42</sup>

#### Articles de vulgarisation (11°)

Je n'en parlerais pas si ce n'était dans l'un d'eux que j'ai émis une idée qui quelle qu'en soit la valeur au fond, a eu historiquement une grande influence. Je me suis demandé s'il n'y aurait pas de lien entre la phosphorescence et les rayons X et s'il ne conviendrait pas d'expérimenter sur les sels d'urane ; c'est ce qui a déterminé Becquerel à entreprendre ses travaux.<sup>43</sup>

### AD 4p. MS 2720, 8.9, Bibliothèque de l'Institut de France.

<sup>1</sup>Ce document du fonds Darboux a été rédigé par Poincaré en vue de sa campagne pour le prix Nobel de physique. Une liste semblable à celle qui se trouve dans ce document figure dans un manuscrit inédit sans date de Poincaré intitulé "Sur un point de la Théorie de la Commutation" (AD 12p, collection particulière, Paris), rédigé vraisemblablement au moment de son cours à l'École professionnelle supérieure des postes et télégraphes, qui donne lieu à un article (1908g) publié le 06.06.1908 :

Éq. de la  $\Phi$  Math ; Hopkins et Palerme

Problème de Neumann ; *Acta*

Équation des Télégraphistes ; Note.

*Théorie de la Lumière* 2 vol. *Potential newtonien* ; *Électricité et Optique* ; *Thermodynamique* ; *Capillarité* ; *Théorie des Tourbillons* ; *Élasticité* ; (note) ; *propagation de la Chaleur* ; *Ondes hertziennes* ; Genève ; T

Conférences sur la télégraphie ;

Lorentz et le principe de réaction ; la Dynamique de l'Électron.  
Articles *Eclairage*.

La référence à "Genève" correspond sans doute aux *Archives de Genève*, alors que le caractère "T" signifie probablement les conférences faites à l'École supérieure des postes et télégraphes.

<sup>2</sup>Poincaré (1890d, 1906f).

<sup>3</sup>Poincaré (1893b, 1896k).

<sup>4</sup>Poincaré (1892–1893, 1896–1897).

<sup>5</sup>Poincaré (1889–1892).

<sup>6</sup>Poincaré (1890–1891, 1901a).

<sup>7</sup>Poincaré (1892i).

<sup>8</sup>Poincaré (1895c).

<sup>9</sup>Poincaré (1894a).

<sup>10</sup>Poincaré (1895a).

<sup>11</sup>Poincaré (1892h).

<sup>12</sup>Poincaré (1893c).

<sup>13</sup>Poincaré (1899f).

<sup>14</sup>Poincaré (1896b).

<sup>15</sup>Poincaré (1890b, 1891e,c).

<sup>16</sup>Poincaré (1900a, 1906f).

<sup>17</sup>(1896h; 1896i; 1896g; 1896j).

<sup>18</sup>Poincaré (1899c, 1900e, 1902i, 1904a, 1907b, 1908g,f).

<sup>19</sup>Poincaré (1890d, 1894c). A ce propos voir l'analyse des travaux de Poincaré (1916–1956, IX, 1–6), ainsi que E. Cosserat et F. Cosserat (1915), V. Volterra (1915), J. Gray 1996, et J. Mawhin (2006).

<sup>20</sup>Poincaré (1895b, 1896b).

<sup>21</sup>Poincaré (1896k).

<sup>22</sup>Poincaré (1901a, 1894a).

<sup>23</sup>Poincaré (1892i, 1908h).

<sup>24</sup>Poincaré (1895c).

<sup>25</sup>Gouy (1883, 1884b,a, 1885). Poincaré analyse les expériences de Georges Gouy dans ses cours (1889–1892, II, 223–226 ; 1892–1893).

<sup>26</sup>Poincaré explique les résultats de Sommerfeld (1896) dans son cours de 1896 (cahier de notes de Paul Langevin, Archives Langevin 123). L'année suivante, Poincaré (1896–1897) compare ses résultats avec ceux de Sommerfeld.

<sup>27</sup>Édouard Sarasin (§ 52) et Lucien de la Rive (§ 33).

<sup>28</sup>Poincaré (1891c).

<sup>29</sup>Bjerknes (1891d).

<sup>30</sup>Poincaré (1891d). Poincaré fut devancé en 1867 par le physicien danois Ludvig Lorenz, dont le travail était peu connu, ainsi que par G.F. FitzGerald en 1883 (Hunt, 1991, 43). A propos de l'emploi du potentiel retardé en électrodynamique, voir Darrigol (2000a, 212).

<sup>31</sup>Il s'agit de l'École supérieure des postes et télégraphes.

<sup>32</sup>Poincaré trouva la solution générale (1893b ; 1894a, 182–188 ; 1904a). Voir aussi Picard (1894, 1927); Hadamard (1937).

<sup>33</sup>Poincaré (1907b), réédité dans Poincaré (1916–1956, X, 487–539).

<sup>34</sup>Poincaré (1908g,f).

<sup>35</sup>Poincaré (1894b). A ce propos voir également le cours de thermodynamique de Poincaré (1892i), et sa correspondance avec Tait (§ 55).

<sup>36</sup>Poincaré (1906e).

<sup>37</sup>Poincaré (1900a).

<sup>38</sup>Max Abraham (1875–1922) a formulé une expression pour la quantité de mouvement électromagnétique (1902) ; à ce propos, voir A.I. Miller (1981, 55–61).

<sup>39</sup>Poincaré (1906f). Pour une analyse détaillée de cet article fondateur de la théorie de la relativité, voir A.I. Miller (1973).

<sup>40</sup>Poincaré (1896j) explique le phénomène observé par Birkeland (1896), en intégrant les équations du mouvement d'une charge électrique dans le champ d'un pôle magnétique.

<sup>41</sup>Poincaré (1900e, 1908g, 1907c).



<sup>42</sup>Poincaré (1900d, 1902d, 1905a).

<sup>43</sup>Poincaré (1896c). Selon Henri Becquerel (1903, 3–4), c’est lui qui aurait communiqué à Poincaré l’idée selon laquelle tout corps phosphorescent émet des rayons comme ceux de Röntgen, comme le remarque Pais (1986, 43). Après avoir été proposé par Poincaré et d’autres membres de l’Institut (§ 62.9), Henri Becquerel partagea le prix Nobel de physique avec Pierre Curie et Marie Curie en 1903.

## 62.20 P. Painlevé et al. au Comité Nobel (extrait)

Paris, 22 Janvier 1909<sup>s</sup>

### Proposition pour le Prix Nobel (Physique) 1909

#### Préambule

Le problème *du plus lourd que l’air* est un des plus importants de la Mécanique et de la Physique, et il a de tout temps préoccupé l’esprit humain.<sup>1</sup>

Ce problème est aujourd’hui résolu par l’aéroplane, et c’est là un des grands événements scientifiques de ces dernières années.

L’aéroplane se compose essentiellement d’un plan légèrement incliné vers le haut de l’avant à l’arrière, et dont l’envergure à droite et à gauche l’emporte de beaucoup sur la largeur transversale. A ce plan incliné est fixée une hélice horizontale, qui tourne rapidement dans l’air sous l’action du moteur et propulse l’appareil en avant, exactement comme l’hélice marine propulse un navire. Qu’on imagine l’appareil placé sur un châssis léger d’automobile propulsé par son hélice, il roule d’abord sur le sol avec une vitesse croissante. L’air souffleté par le plan incliné lui résiste par en dessous, tend à le soulever tout en s’opposant à sa marche, et le soulève en effet quand la vitesse est devenue suffisante.

L’aéroplane marche donc en quelque sorte sur le vent et contre le vent. Que son moteur s’arrête : la résistance de l’air ralentit sa vitesse qui devient trop faible pour que l’appareil ne descende pas. S’il est bien construit et bien gouverné, il atterrit en planant, selon une pente assez douce, comme un oiseau qui se pose. Mais une petite erreur de construction ou de manœuvre peut être fatale. Cette seule remarque suffit à faire comprendre la difficulté de construction d’un tel appareil, et le danger des essais.

Assimilable aux oiseaux bons voiliers, tels que l’hirondelle, l’aéroplane apparaît parmi tous les modes de locomotion qu’aient inventés les hommes comme une merveilleuse nouveauté. Les véhicules terrestres, automobiles, chemins de fer, sont parvenus, ou peu s’en faut, à leur vitesse maxima ; en outre ils sont contraints de contourner les obstacles. L’aéroplane, comme d’ailleurs le dirigeable, peut aller droit à son but, mais surtout, tandis que les dirigeables atteignent péniblement la vitesse de 50 Km à l’heure, qu’ils ne dépasseront jamais de beaucoup, la vitesse des aéroplanes dès maintenant est de 60 à 80 kilomètres à l’heure, et est destinée à s’accroître un jour dans des proportions considérables. [...]

Pour bien faire ressortir toute la difficulté du progrès accompli, il importe de remarquer que, si le vol à moteur n’était possible qu’avec les progrès modernes du machinisme, le vol

<sup>s</sup>Le manuscrit porte un cachet : “K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 31.1 1909”. Il porte également la date : “Stockholm den 30 januari 1909”.

plané était réalisable à l'homme de tout temps. La construction matérielle d'un planeur sans moteur est plus aisée que celle d'un bateau à voiles. Pourtant depuis des siècles que le vol plané, avec direction et virages, est possible, désiré et tenté, c'est aujourd'hui seulement qu'il est réalisé.

Quant au caractère scientifique du problème du plus lourd que l'air, il suffit, pour s'en convaincre, de songer que des savants tels que Langley et Marey y ont consacré des années d'efforts. Encore faudrait-il ajouter bien des noms à ceux que nous avons cités déjà : tels Kress et von Loëssel en Autriche, Philipps en Angleterre, Renard en France, et tant d'autres. De même que pour faire ressortir le péril du problème résolu, il faudrait aux noms de Lilienthal et de Pilcher ajouter un véritable martyrologue.<sup>2</sup>

Il nous semble désirable que la Science ne paraisse pas se désintéresser de la solution d'un problème qui a passionné tant de savants, provoqué tant de recherches et exigé tant de victimes. Tout en rendant hommage aux grands et courageux services rendus par leurs rivaux, nous pensons qu'il faut mettre hors de pair les Wright d'une part, et G. Voisin et H. Farman d'autre part, qui, les premiers et par des méthodes différentes, ont réalisé d'une façon incontestable de véritables vols artificiels avec de sûrs virages, critérium de l'équilibre.<sup>3</sup> Nous proposons donc que le prix Nobel de Physique soit partagé en 1909 en deux parties égales, dont l'une serait attribuée aux frères Wright, et l'autre à G. Voisin et H. Farman collaborateurs.<sup>4</sup>

Paul Painlevé Poincaré G. Mittag-Leffler E. Phragmén O. Backlund Ivar Bendixson V. Carlheim-Gyllensköld

**ADS (extrait) 32p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Ce document fut rédigé par Paul Painlevé, selon le souhait exprimé par G. Mittag-Leffler de "donner le prix Nobel à l'invention de l'aéroplan" Mittag-Leffler à Painlevé, 09.12.1908 (Poincaré, 1999, 350n3). Painlevé et Poincaré y ont attaché leurs signatures à Paris le 22.01.1909 ; à Stockholm, Mittag-Leffler, Phragmén, Backlund, Bendixson, et Carlheim-Gyllensköld ont fait de même le 30.01.1909.

<sup>2</sup>Otto Lilienthal et Percy Pilcher trouvent la mort dans des accidents de vol à la fin des années 1890.

<sup>3</sup>Orville Wright et Wilbur Wright. Dans *Le Matin* du 11.10.1908, Painlevé décrit ses impressions de passager lors d'un vol de plus d'une heure avec Wilbur Wright à Le Mans.

<sup>4</sup>Le prix Nobel de physique sera décerné en 1909 à Ferdinand Braun et Guglielmo Marconi pour leur développement de la télégraphie sans fil.

## 62.21 G. Darboux et al. au Comité Nobel

PARIS, LE 19 janvier 1909<sup>a</sup>

INSTITUT DE FRANCE – ACADEMIE DES SCIENCES

Messieurs et très honorés Confrères,

Conformément à l'invitation que vous avez bien voulu m'adresser en Septembre 1908, j'ai l'honneur de vous présenter pour le prix Nobel de physique mon confrère

Henri Poincaré

<sup>a</sup>Le manuscrit porte le même cachet sur la page de garde et la première page de la "Note sur les travaux" : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 22.1 1909".

Pour ses travaux de physique générale et mathématique analysés dans la Notice jointe à cet envoi.

Veillez agréer, Messieurs, l'assurance de mes sentiments de haute estime.

G. Darboux

Note sur les travaux de physique mathématique et de physique générale d'*Henri Poincaré*, membre de l'Institut (Académie française et Académie des Sciences) et du Bureau des Longitudes, professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Si les travaux de physique mathématique et de physique générale peuvent concourir pour le prix Nobel de physique, c'est avec grande confiance que nous soumettons aux membres du Comité Nobel de physique, l'ensemble des travaux qu'*Henri Poincaré* a publiés sur la physique théorique. Nous n'avons pas besoin de rappeler ici la situation que s'est acquise l'illustre savant, les découvertes géniales qu'il a faites dans toutes les branches des mathématiques. Nous voulons montrer que même en écartant des travaux de premier ordre qui touchent de très près à la Physique, par exemple les recherches sur l'équilibre d'une masse fluide, en nous limitant très nettement aux Mémoires de physique pure, l'œuvre d'*Henri Poincaré* mérite au plus haut degré l'éclatante récompense que nous sollicitons pour lui.

1° Il a professé pendant quelques années à la Sorbonne la physique mathématique. Cela lui a donné l'occasion de publier un ensemble considérable de traités dont voici les principaux

*Théorie de la lumière* 2 volumes. *Electricité et optique* 1<sup>ère</sup> édition en 2 volumes, 2<sup>e</sup> en un volume. *Thermodynamique. Théorie analytique de la propagation de la chaleur. Les oscillations électriques. Capillarité. Leçons sur la théorie de l'élasticité. Théorie des tourbillons. Théorie du potentiel Newtonien.*<sup>1</sup>

2° Il a publié deux Mémoires fondamentaux sur les équations de la physique mathématique, l'un dans l'*American Journal of mathematics* t XII, l'autre dans les *Rendiconti del Circolo matematico* de Palerme.

3° des Notes diverses sur l'équation des télégraphistes, sur la théorie de l'élasticité, etc. publiées notamment dans les *Comptes Rendus* de l'Académie des Sciences

4° un mémoire sur la polarisation par diffraction publié dans les *Acta mathematica*

5° un mémoire dans le même Recueil sur la méthode de Neumann et le principe de Dirichlet

6° diverses Notes sur les ondes hertziennes dans les *Archives de Genève*

7° Des conférences faites à l'Ecole de télégraphie publiées dans la Collection des cours de l'Ecole et reproduites dans le Journal l'*Eclairage électrique*.

8° Des articles sur la théorie cinétique des gaz dans la *Revue générale des Sciences* et dans le *Journal de Physique*

9° des articles sur la théorie de Lorentz et le principe de réaction (*Archives Néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*) et sur la dynamique de l'électron (*Rendiconti del Circolo matematico* de Palerme)

10° Des conférences de nature philosophique faites aux Congrès de Paris et de Saint Louis ainsi que de nombreux articles de vulgarisation dans la *Revue générale des sciences* et dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*.

11° des Notes sur les rayons cathodiques publiées dans les *Comptes Rendus*

12° Des articles sur le phénomène de Zeeman et sur des questions d'électrotechnique dans le Journal l'*Eclairage Electrique*.

Cette longue énumération montre d'abord qu'Henri Poincaré a touché à toutes les questions vitales de la physique moderne. Il nous reste maintenant à donner quelques indications, qui seront nécessairement sommaires, sur la nature, le but et la portée de ses différents travaux.

*Equations générales de la physique mathématique (2° 3° et 5°)*

M. Poincaré a abordé plusieurs des questions les plus difficiles de la Physique mathématique, les vibrations d'une membrane, la théorie de l'élasticité, la théorie du mouvement de la chaleur de Fourier. Ses mémoires ont fourni plusieurs solutions du problème de Dirichlet, ils ont démontré la généralité et la véritable signification de la solution de Neumann, ils ont introduit la notion des fonctions dites *fondamentales* et ont permis pour la première fois le calcul complet de la hauteur des divers sons émis par une membrane. Tous ces travaux *sont de la plus haute portée* ; mais nous croyons inutile de nous y étendre, le Comité ayant à côté de lui M. Fredholm, le juge le plus compétent, qui s'est plu à reconnaître leur valeur et tout ce que leur doit la belle découverte qui lui est personnelle. Nous remarquerons seulement que, dans une Note des *Comptes Rendus*, H. Poincaré a appliqué la méthode de Neumann au problème général de l'Elasticité et montré qu'elle en donne une solution complète. Nous reviendrons plus loin sur l'équation des télégraphistes.

*Cours de physique mathématique (1°)*

Ces cours ont été professés pendant 10 ans. Les volumes en question, souvent réimprimés, contiennent surtout une comparaison et un examen critique des différentes théories proposées.

Dans la *théorie mathématique de la lumière*, le fait que cette comparaison met surtout en évidence, c'est l'impossibilité de décider entre deux sortes de théories optiques, celles qui regardent la vibration comme perpendiculaire au plan de polarisation et celles qui la regardent comme parallèle. Cette impossibilité est foncière et tient à la nature des choses. Les volumes contiennent également des parties nouvelles en ce qui concerne la diffraction et la propagation rectiligne de la lumière.<sup>2</sup>

*Electricité et optique*, les *Oscillations électriques* contiennent la discussion approfondie et la mise au point des théories de Maxwell, de Hertz, de Larmor et de Lorentz.<sup>3</sup>

Dans la *Thermodynamique* la partie nouvelle est la démonstration générale du théorème de Clausius (dont la généralité était alors contestée par Bertrand) et cela par deux méthodes différentes.<sup>4</sup>

La *théorie de la propagation de la chaleur* contient plusieurs procédés nouveaux pour les développements en séries des fonctions dites *fondamentales*, importante découverte de l'auteur.<sup>5</sup>

*Polarisation par diffraction (4°)*

La théorie de Fresnel sur la diffraction est purement géométrique ; c'est-à-dire que, si elle était rigoureuse, la nature des parois et même l'épaisseur des écrans ne devraient exercer aucune influence sur les phénomènes. Les expériences de Gouy ont montré qu'il n'en était pas toujours ainsi. Poincaré a donné l'explication des faits signalés par Gouy et montré combien la théorie de Fresnel devient insuffisante dans certains cas. Depuis M.

Sommerfeld a repris la méthode de Poincaré pour étudier tous les cas intermédiaires entre les deux cas extrêmes, celui de Fresnel qui est le plus ordinaire et celui de Gouy auquel Poincaré avait appliqué son analyse.<sup>6</sup>

#### *Ondes hertziennes (6°)*

On a d'abord comparé les ondes hertziennes aux ondes sonores ou lumineuses ordinaires qui ne sont pas amorties. On a été ainsi conduit à des prévisions qui n'ont pas été confirmées par l'expérience, et ces contradictions ont paru fort embarrassantes à un certain moment. Tel a été par exemple le phénomène de la résonance multiple découvert par Sarazin et de la Rive.<sup>7</sup> Poincaré, le premier, a montré que ces contradictions s'expliquaient par l'amortissement des ondes.<sup>8</sup> Cette explication a été retrouvée un peu après, et sans doute d'une manière tout-à-fait indépendante, par Bjerknes.<sup>9</sup> Le rôle de cet amortissement est d'ailleurs capital dans la théorie de la télégraphie sans fil. Nous citerons aussi une Note des *Comptes Rendus* où Poincaré a introduit, le premier ou un des premiers, la notion du *potentiel retardé*.<sup>10</sup>

#### *Conférences de l'Ecole de télégraphie (7°)*

L'équation des télégraphistes nous fait connaître les lois de la propagation d'une perturbation électrique dans un fil. Poincaré a intégré cette équation par une méthode générale applicable à un grand nombre de questions analogues. Le résultat varie suivant la nature des appareils récepteurs placés sur la ligne, ce qui se traduit mathématiquement par un changement dans les équations aux limites ; mais la même méthode permet de traiter tous les cas.<sup>11</sup>

Dans une seconde série de conférences, il a étudié le récepteur téléphonique, mettant particulièrement en évidence le rôle des courants de Foucault dans la masse de l'aimant.<sup>12</sup> Enfin dans une troisième série de conférences, il a traité les diverses questions mathématiques relatives à la *Télégraphie sans fil*. Emission, champ en un point éloigné ou rapproché, diffraction, réception, résonance, ondes dirigées, ondes entretenues.<sup>13</sup> Rappelons que ces conférences ont été publiées.

#### *Théorie cinétique des gaz (8°)*

Le cours fait sur ce sujet n'a pas été publié ; mais Poincaré a donné dans la *Revue générale des Sciences* un article où il examinait et réfutait certaines objections faites par Lord Kelvin au théorème de Boltzmann-Maxwell.<sup>14</sup> Dans le *Journal de Physique* il a cherché à concilier cette théorie avec l'irréversibilité des phénomènes, ce qui est la grande difficulté ; et pour éclaircir la question, il examine ce qui se passerait dans diverses hypothèses, plus ou moins éloignées du cas de la nature, telles que seraient celle d'un gaz à une dimension ou de gaz très raréfiés.<sup>15</sup>

#### *Théorie de Lorentz (9°)*

H. Poincaré a eu à examiner différentes conséquences de la théorie de Lorentz. Il a montré qu'elle était incompatible avec le principe d'égalité de l'action et de la réaction et fait voir comment il conviendrait de modifier ce principe pour le mettre d'accord avec la nouvelle théorie.<sup>16</sup> Ce résultat rappelons-le, a servi de point de départ à Abraham pour le calcul par lequel il a démontré que la masse des électrons est d'origine purement électrodynamique et que leur masse transversale diffère de leur masse longitudinale.<sup>17</sup> Enfin Poincaré a publié dans les *Rendiconti* un article où il expose la théorie de Lorentz sur la Dynamique de l'Electron et où il nous paraît qu'il a réussi à écarter les dernières difficultés, en donnant

une parfaite cohérence à cette belle et importante théorie.<sup>18</sup>

*Rayons cathodiques (11°)*

Parmi les nombreuses notes publiées sur ce sujet, nous signalerons plus particulièrement celle où il a déterminé la forme de ces rayons dans un champ magnétique intense et non uniforme. Ce résultat a été souvent utilisé dans les différentes théories qui ont été données de l'aurore boréale.<sup>19</sup>

*Electrotechnique (12°)*

Poincaré a traité dans plusieurs articles diverses questions d'électrotechnique, il a mis en évidence le rôle des contacts glissants dans les phénomènes dits d'induction unipolaire sur lesquels les techniciens discutaient à perte de vue ; il a montré que la théorie ordinairement admise de la commutation était inadmissible. D'autre part, il a démontré rigoureusement et d'une manière générale, l'impossibilité d'une machine autoexcitatrice, sans collecteur et sans condensateur.<sup>20</sup>

*Conférences philosophiques (10°)*

Ce sont les conférences faites au Congrès de physique en 1900 et au Congrès international de Saint Louis. Elles ont été reproduites dans les Ouvrages que nous citons volontiers ici ; car ils ont fait penser beaucoup d'hommes de science et de physiciens : *Science et hypothèse. La valeur de la Science* et enfin le volume tout récent : *Science et méthode*. On sait que ces volumes ont été traduits ou vont être traduits en allemand.<sup>21</sup>

*Articles de vulgarisation (10°)*

Nous ne parlerions pas de ces articles si nous n'avions pas à signaler un fait qui montre l'influence qu'ils ont exercée. C'est dans l'un d'eux qu'Henri Poincaré s'est demandé s'il n'y avait pas de lien entre la phosphorescence et les rayons X et s'il ne conviendrait pas d'expérimenter sur les sels d'uranium et c'est ce qui a déterminé Henri Becquerel, son camarade et son ami, à entreprendre les travaux qui l'ont conduit à la brillante découverte de la radioactivité. Ce fait nous paraît typique.<sup>22</sup>

L'exposé que nous venons de faire porte sur des théories si diverses que l'on a peine à croire qu'elles aient pu être approfondies et perfectionnées par un seul homme, alors que cet homme a fait aussi dans d'autres domaines des découvertes de premier ordre. Nous avons négligé certaines théories où Poincaré a fait des découvertes géniales, telles que *celle des figures d'équilibre d'une masse fluide*.<sup>23</sup> Nous avons même négligé certains résultats de haut intérêt tels que le suivant, qui figure dans la nouvelle édition de sa *Thermodynamique* : On s'est demandé s'il est possible d'expliquer l'irréversibilité des phénomènes physiques par des actions à distance analogues à l'attraction newtonienne. Deux tentatives ont été faites pour répondre à cette question, l'une est fondée sur les lois statistiques et la cinétique des gaz. L'autre est celle de Helmholtz qui se propose d'expliquer l'irréversibilité par des mouvements cachés provenant de forces analogues à la force centrifuge composée. La discussion de M. Poincaré lui a montré qu'il fallait renoncer à cette dernière tentative.<sup>24</sup>

Henri Poincaré, on le voit, s'est occupé des parties les plus hautes, mes plus difficiles et les plus importantes de la physique. Mais nous n'ignorons pas que ce n'est pas à l'œuvre d'ensemble, que c'est à un travail déterminé qu'est donné le prix Nobel. Choissant donc parmi les divers travaux que nous venons de rappeler, nous signalons particulièrement à l'Académie les deux ordres de recherches suivants

1° les importants travaux sur les équations aux dérivées partielles de la physique mathématique contenus principalement dans le t VIII des *Rendiconti de Palermo* et dans le tome XX des *Acta mathematica*

2° le Mémoire sur la polarisation par Diffraction publié dans le même Recueil.

Paris 17 janvier 1909

G. Darboux Villard A. Haller H. Le Chatelier G. Lippmann J. Violle J. Bous-sinesq E.H. Amagat P. Vieille H. Deslandres Em. Picard D. Gernez

#### ALS 6p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.

<sup>1</sup>Poincaré (1889–1892, 1890–1891, 1901a, 1892i, 1895c, 1894a, 1895a, 1892h, 1893c, 1899f).

<sup>2</sup>Poincaré (1889–1892).

<sup>3</sup>Poincaré (1894a, 1901a).

<sup>4</sup>Poincaré (1908h).

<sup>5</sup>Poincaré (1895c).

<sup>6</sup>Voir (§ 62.19), notes 25 et 26.

<sup>7</sup>Édouard Sarasin (§ 52) et Lucien de la Rive (§ 33).

<sup>8</sup>Poincaré (1891c).

<sup>9</sup>Bjerknes (1891d).

<sup>10</sup>Poincaré (1891d). Voir aussi (§ 62.19), note 30.

<sup>11</sup>Poincaré trouva la solution générale (1893b ; 1894a, 182–188 ; 1904a). Voir aussi (§ 62.19), note 32.

<sup>12</sup>Poincaré (1907b), réédité dans Poincaré (1916–1956, X, 487–539).

<sup>13</sup>Poincaré (1908g).

<sup>14</sup>Poincaré (1894b).

<sup>15</sup>Poincaré (1906e).

<sup>16</sup>Poincaré (1900a).

<sup>17</sup>Abraham (1902).

<sup>18</sup>Poincaré (1906f) ; voir aussi (§ 62.19), note 39.

<sup>19</sup>Poincaré (1900e, 1908g, 1907c). Voir aussi (§ 62.19), note 40.

<sup>20</sup>Poincaré (1900e, 1908g, 1907c).

<sup>21</sup>Poincaré (1900d, 1904c, 1902d, 1905a, 1908e). Les trois volumes cités ont été traduits en allemand en 1904f, 1906a, and 1914, respectivement.

<sup>22</sup>Poincaré (1896c). A propos de la découverte de H. Becquerel, voir (§ 62.19), note 43.

<sup>23</sup>Poincaré (1902c).

<sup>24</sup>Poincaré (1892i, 417 ; 1908h, 444).

## 62.22 Rapport sur J. Becquerel et P. Weiss (fragment)

[Ca. 23.02–01.03.1909]<sup>1</sup>

[Début de fragment]

de parties de la physique, celui qui a le plus attiré mon attention, c'est celui qui se rapporte à l'observation du phénomène de Zeeman dans les cristaux.<sup>2</sup> Cette observation avait une grande importance, parce qu'en nous renseignant sur les modifications qu'éprouve le phénomène quand on fait varier soit la direction du plan de l'onde, soit celle de la vibration, soit celle du champ magnétique par rapport aux trois axes principaux du cristal, elle nous fournit, par les variations de ces divers éléments, une foule de données propres à nous éclairer sur la nature intime des vibrations lumineuses. D'autre part elle présentait de très grandes difficultés, parce qu'en général les bandes d'absorption dans les corps solides sont très larges, de sorte que de petits déplacements sont difficilement perceptibles.



M. Becquerel a eu la bonne fortune de trouver des cristaux où les bandes étaient relativement étroites et grâce à son habileté expérimentale, il a triomphé de toutes les difficultés qui malgré tout restaient encore très grandes.<sup>3</sup>

Les phénomènes qu'il a observés présentent une très grande variété et il les a discutés avec beaucoup de sagacité. Je signalerai surtout le cas des bandes où le sens du phénomène est contraire au sens habituel ce que l'on voyait pour la première fois avec certitude. L'explication qui se présente naturellement à l'esprit, c'est que ce renversement est dû à des électrons positifs. Cette hypothèse inspire, je ne sais pourquoi, une vive répugnance à certaines personnes. Mais nous ne devons voir dans les hypothèses qu'un langage commode pour exprimer les faits. L'hypothèse des électrons positifs est certainement, jusqu'à nouvel ordre, celui qui permet d'exprimer dans le langage le plus simple et le plus concis le fait nouveau découvert par M. Becquerel.<sup>4</sup> Le sentiment désagréable que ce langage fait éprouver à plus d'un physicien, n'enlève rien à l'importance de ce fait, et peut-être ce sentiment même devrait faire comprendre à ceux qui le ressentent, combien le fait est inattendu et par conséquent intéressant.

M. Becquerel eut ensuite l'heureuse idée de plonger ses cristaux dans l'air liquide ; il vit alors ses bandes devenir plus fines au point de se rapprocher des raies gazeuses. Le phénomène de Zeeman devenait ainsi beaucoup plus aisé à observer, et quelques unes des circonstances qui étaient restées douteuses furent définitivement éclaircies.

Mais en même temps il ouvrait une voie nouvelle, celle des [fin de fragment]

[Début de fragment]

M. Kammerling-Onnes, a pu opérer avec de l'hydrogène liquide.<sup>5</sup>

Je parlerai seulement d'un travail en cours d'exécution sur le spectre de phosphorescence des sels d'uranium. A la température ordinaire, on ne voit que des bandes diffuses sur lesquelles aucune mesure n'est possible. A basse température, ces bandes se résolvent en une série de raies ; on reconnaît alors que ces spectres ressemblent à celui de l'azote, étudié par M. Deslandres ; et non à celui de l'hydrogène auquel s'applique la loi de Balmer.<sup>6</sup> Un examen plus approfondi, en faisant connaître les lois simples qui régissent la distribution de ces bandes et de leur diverses composantes, confirme cette manière de voir. On voit de plus que ces bandes ne sont pas sensibles au champ magnétique, tout comme le spectre de l'azote auquel elles ressemblent, tandis que les raies de phosphorescences du rubis subissent le phénomène de Zeeman.<sup>7</sup>

Je dirai quelques mots en terminant d'expériences récentes faites par M. Becquerel sur les rayons cathodiques.<sup>8</sup> Pour apprécier ces expériences, il importe de les dégager des diverses interprétations qui en ont été données. Toute interprétation serait pour le moment prématurée, et ce que nous devons rechercher seulement si le fait observé est nouveau et intéressant. Les discussions mêmes auxquelles il a donné lieu doivent nous faire incliner vers une réponse affirmative. Un fait banal ne les aurait pas soulevées.

L'interprétation particulière proposée par M. Becquerel est plausible, mais aventureuse, et il faut réserver notre adhésion définitive.<sup>9</sup> Mais, quand même on écarterait cette interprétation, le fait n'en subsisterait pas moins. Deux faits me paraissent hors de doute, le sens du courant, mis en évidence par des expériences nombreuses et la nécessité de faire tomber le faisceau cathodique principal sur la cathode secondaire pour que le phénomène



puisse se produire.

M. Dufour a publié dans les derniers *Comptes Rendus* une note sur le même sujet.<sup>10</sup> Je n'ai pas encore eu le temps d'étudier cette note, mais il ne semble pas que le phénomène observé par M. Dufour soit le même que celui de M. Becquerel, puisque le premier semble ne se produire que quand les rayons cathodiques tombent en dehors de la cathode secondaire, ce qui est justement le cas où les rayons déviables de M. Becquerel ne se produisent pas.

L'ensemble de ces travaux me paraît constituer un bagage supérieur à celui de M. Weiss auquel je suis d'ailleurs le premier à rendre justice puisque j'ai soutenu récemment sa candidature à la seconde ligne pour le Collège de France.<sup>11</sup> Mais si les titres étaient jugés égaux, j'aurais encore d'autres raisons pour voter pour M. Becquerel.

M. Weiss a été chargé de tenir le drapeau de la Science française à l'étranger et il l'a vaillamment tenu.<sup>12</sup> Il a mérité d'être relevé de faction et le temps ne tardera pas où il recevra la récompense qu'il mérite. Mais enfin, il a un laboratoire, et beaucoup mieux installé que celui qu'il trouverait au Muséum. Si M. Becquerel était écarté, il se trouverait subitement sans moyen de travail. Les instruments dont il se sert pour ses travaux commencés, les cristaux qu'il a employés dans ses recherches, appartiennent au laboratoire du Muséum, et il devrait abandonner tous les travaux en cours d'exécution et dont je viens d'expliquer l'importance. Dans ce laboratoire en effet il n'y a pas de place pour deux, et ceux de nos confrères qui les connaissent ne me démentiront pas.

Rappelons que l'Académie a récemment affecté une somme de 9000 francs sur la fondation Debrousse à l'achat d'un appareil à hydrogène liquide ; cet appareil a été attribué au laboratoire du Muséum, il devait servir à des recherches effectuées en collaboration par notre regretté secrétaire perpétuel et par son fils, et ce fils comptait les poursuivre seul. S'il n'est pas nommé, l'appareil restera inutilisé.<sup>13</sup>

En résumé, si on nommait M. Weiss au Muséum, le rendement scientifique des deux hommes éminents qui se trouvent en présence se trouverait amoindri et cela pour deux raisons ; par ce que M. Weiss ne trouverait pas au Muséum de ressources comparables à celles qu'il possède à Zurich, que les ressources spéciales qu'il y trouverait lui seraient inutiles pour ses recherches et que l'état du budget ne lui permettrait pas de changer cet état de choses. Et parce que ces ressources d'autre part sont indispensables à M. Becquerel, qui ne pourrait continuer ses travaux actuels s'il en était privé.

Tout à vous,

Poincaré

#### **ALS fragment 6p. MS 2720, 8.3, Bibliothèque de l'Institut de France.**

<sup>1</sup>Suite au décès de Henri Becquerel, le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts demande à l'Académie des sciences de lui présenter une liste de deux candidats pour la chaire de physique appliquée aux sciences naturelles du Muséum d'histoire naturelle. Poincaré rédige un rapport (dont nous publions un fragment conservé aux archives) sur les titres de Jean Becquerel et Pierre Weiss ; selon le résultat du scrutin du 08.03.1909, Becquerel est présenté en première ligne et Weiss en deuxième ligne (*Comptes rendus* 148, 459, 606).

<sup>2</sup>Voir Poincaré (1897a, 1899c), et (1901a, 547). A ce propos, voir la discussion de Buchwald (1985, 248).

<sup>3</sup>La première note de J. Becquerel sur les phénomènes magnéto-optiques est communiquée à l'Académie des sciences par Poincaré le 26.03.1906 ; au total, il publie 25 communications sur ce sujet dans les *Comptes rendus* entre mars 1906 et avril 1909.

<sup>4</sup>Suite à une note critique par Alexandre Dufour du 22.02.1909, J. Becquerel (1909) justifie son hypothèse par un appel à la simplicité.

<sup>5</sup>Heike Kammerlingh Onnes (1853–1926) est professeur de physique à Leyde, et futur prix Nobel de physique (1913). Il co-signe une note avec J. Becquerel (1908) à propos des expériences sur la variation des spectres des cristaux dans un champ magnétique à très basse température, communiquée par Poincaré à l'Académie des sciences le 23.03.1908.

<sup>6</sup>Henri Deslandres (1853–1948), physicien et astronome, membre depuis 1902 de la section d'astronome à l'Académie des sciences.

<sup>7</sup>A propos de l'effet Zeeman, voir la correspondance avec Pieter Zeeman (§61).

<sup>8</sup>Becquerel (1908), note présentée par Poincaré le 22.06.1908.

<sup>9</sup>Il s'agit de l'hypothèse des électrons positifs.

<sup>10</sup>Dufour (1909), présentée à l'Académie des sciences le 22.02.1909 par J. Violle. Une réponse de J. Becquerel (1909) est publiée la semaine d'après.

<sup>11</sup>Il s'agit de la succession de Mascart, remportée en 1909 par Paul Langevin (§32).

<sup>12</sup>Pierre Weiss dirige le laboratoire de physique à l'École polytechnique fédérale de Zurich depuis 1902.

<sup>13</sup>Henri Becquerel est mort le 25.08.1908 ; dans une lettre lue le 14.09.1908, Jean Becquerel annonce que son père, en mémoire du grand-père et du père de celui-ci, légua la somme de cent mille francs à l'Académie des sciences (*Comptes rendus* 147, p. 483).

## 62.23 Poincaré à M. Abraham

[Ca. 11–16.04.1909]

*Résumé d'une ALS 2p, Catalogue de vente, Librairie Damascene Morgand, Paris, novembre 1956.*

L. A. S. de 1909, à un ami (M. Abraham), 2 p. in-8. Il a attrapé la rougeole (par la visite d'un malade), a éliminé le germe mais l'a passé à sa femme. Ce qui l'empêche d'assister à la conférence de M. Lehmann, etc., etc.<sup>1</sup>

### Notes

<sup>1</sup>Il s'agit vraisemblablement de Henri Abraham (1868–1943), chargé de cours de physique à l'École normale supérieure, puis professeur titulaire à partir de 1912 (Charle et Telkes, 1989, 20). Otto Lehmann (1855-1922) est professeur de physique à la Technische Hochschule de Karlsruhe. Il fait une conférence au sujet des cristaux liquides (1909) devant la société française de physique le 16 avril.

## 62.24 A.A. Michelson au Comité Nobel

CHICAGO Jan. 9 1910<sup>b</sup>

RYERSON PHYSICAL LABORATORY – THE UNIVERSITY OF CHICAGO

M. Le Secrétaire du Comité Nobel de Physique

Dear Sir,

I have the honor to propose for the Nobel Prize in Physics for 1910 the name of Henri Poincaré for his discoveries concerning Differential Equations of Mathematical Physics.<sup>1</sup>

Very truly yours,

<sup>b</sup>The manuscript is stamped: "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 24.1 1910".

A.A. Michelson

ALS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.

<sup>1</sup>Michelson (§ 41) was awarded the 1907 Nobel Prize in physics.

## 62.25 V. Volterra au Comité Nobel

Rome 10 Janvier 1910<sup>c</sup>

Monsieur le Président du Comité Nobel de Physique  
de l'Académie Royale des Sciences à Stockholm.

J'ai l'honneur de proposer pour le prix Nobel de physique de l'année 1910, Monsieur *Henri Poincaré*, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris pour ses *découvertes concernant les équations différentielles de la Physique Mathématique*. Je fais cette proposition en m'appuyant sur la rapport que M. M. Darboux, Appell et Fredholm ont présenté.<sup>1</sup>

Il n'est pas nécessaire de multiplier les exemples pour montrer le rôle et l'importance que les équations différentielles, et en général les procédés analytiques, jouent dans le développement de la Physique. Il me suffira de rappeler que c'est par l'étude théorique des équations générales de l'élasticité et par la comparaison de ces équations différentielles avec celles du champ électromagnétique que Maxwell a été amené à créer la théorie électromagnétique de la lumière, et que cette théorie a été le point de départ et le guide de Hertz dans ses recherches sur les ondes électromagnétiques, ce qui a conduit après, de proche en proche, jusqu'à la découverte du télégraphe sans fil. Si les développements théoriques de Maxwell sur les équations différentielles avaient manqué, le champ le plus brillant de la physique moderne ne se serait pas développé. L'histoire de la physique, et plus spécialement la partie la plus moderne de cette histoire, nous montre que tous les progrès de la physique sont liés de jour en jour davantage au progrès de l'analyse, et que cet instrument de la pensée humaine est le plus convenable pour classer, discuter et comparer d'une manière rigoureuse les phénomènes du monde physique, et, par suite, pour les dominer. Les mémoires de M. Poincaré qui se rattachent aux équations différentielles de la physique mathématique, par leur généralité, par l'originalité des méthodes que leur auteur a employé, par la profondeur des pensées qu'ils renferment, par l'intérêt de leurs applications constituent un ensemble de travaux de la plus haute importance dans le domaine de la physique. Ils ont donné pour la première fois la solution complète et rigoureuse d'un grand nombre de questions fondamentales de la physique qu'on cherchait depuis longtemps. Dans le mémoire, que M. Poincaré a publié dans les *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo* en 1894, le problème des sons fondamentaux d'une membrane élastique est résolu.<sup>2</sup> On avait attaché ce problème de bien des côtés ; un grand nombre de cas particuliers avaient été traités, mais aucune méthode n'avait été encore développée pour en donner la solution générale, qui présentait une grande difficulté. M. Poincaré est réussi à l'obtenir par des méthodes originales, et du même coup

<sup>c</sup>Le manuscrit porte le cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 20.1 1910", avec l'annotation "Härtill 1 bilage".

M. Poincaré a résolu, outre qu'un problème d'acoustique, des problèmes fondamentaux de la théorie de la chaleur.

Les recherches, que M. Poincaré a consacrées au problème de la distribution de l'électricité en équilibre, ressortent aussi par l'originalité des méthodes et par la généralité des résultats. M. Poincaré est revenu plusieurs fois sur cette question et il en a obtenu la solution par une heureuse combinaison de plusieurs méthodes qu'il a fait converger au même but.

Tout dernièrement le monde des physiciens a été frappé par des questions inattendues sur le principe de relativité qui se sont présentées en suite des travaux modernes sur les électrons. M. Poincaré a abordé la question à un point de vue très élevé. Par le principe de la moindre action il prouve que le postulat de relativité peut être rigoureusement établi, si l'inertie de la matière et toutes les forces étaient exclusivement d'origine électromagnétique à part une pression constante qui explique la déformation de Lorentz.<sup>3</sup> Mais il envisage aussi de près l'hypothèse que toutes les forces, quelle qu'en soit l'origine, sont affectés par la transformation de Lorentz de la même manière que les forces électromagnétiques. Par là il trouve que la propagation de la gravitation se ferait avec la vitesse de la lumière, mais que l'effet de cette propagation serait compensé, en grande partie, par une cause différente, de sorte qu'il n'y aurait pas de contradiction avec les observations astronomiques.<sup>4</sup> Il est très intéressant de suivre les autres découvertes de M. Poincaré se rattachant aux différentes branches de la physique dans tous les nombreux et importants travaux qu'il a répandus dans bien des journaux et des recueils scientifiques. Ils se rapportent à l'optique, à l'électricité, à la thermodynamique, à la théorie de la propagation de la chaleur, aux ondes hertziennes, à la théorie cinétique des gaz, aux rayons cathodiques à l'électrotechnique. Les résultats intéressants, les procédés nouveaux, et les observations géniales qu'ils renferment sont envisagés en détail dans le rapport que j'ai cité d'abord.

Les leçons de M. Poincaré qui se rapportent à toutes les branches de la physique mathématique, ont non seulement une importance didactique, mais elles ont aussi un intérêt scientifique de premier ordre. Le maître illustre y développe des idées nouvelles et originales en donnant des aperçus d'ensemble des théories, qui les présentent sous un nouveau jour et quelquefois les transforment. La discussion sur le plan de polarisation en optique, celle sur l'explication mécanique des phénomènes naturels dans l'électricité, la discussion sur les principes généraux de la thermodynamique suffisent pour le prouver.

La profondeur et l'ampleur de ses idées générales sur les différentes branches de la physique paraissent d'autre part dans ses conférences philosophiques et dans ses articles de vulgarisation, qui sont connus et hautement appréciés par tous les savants et tous les esprits cultivés.

L'ensemble de ses travaux peut être comparé à un superbe monument. Les bases solides sur lesquelles M. Poincaré l'a posé sont ses admirables et profondes recherches sur les équations différentielles des différents problèmes de la physique mathématique.

Veillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mon plus profond respect.

Vito Volterra

Professeur à l'Université de Rome

<sup>1</sup>Voir le rapport (§ 62.26).

<sup>2</sup>Poincaré (1894c).

<sup>3</sup>Supposant une origine purement électromagnétique de l'inertie de la matière, et que toute les forces soient d'origine électromagnétique (sauf celle dérivée d'un potentiel hypothétique qui donne lieu à la "pression de Poincaré"), Poincaré (1906f, 130) montre que la théorie de Lorentz est compatible avec le principe de relativité. Selon la lecture de Paty (1993, 53), chez Poincaré cette pression hypothétique sert à la "neutralisation de l'aspect physique des concepts d'espace et de temps."

<sup>4</sup>Voir (Poincaré, 1906f, §9). Poincaré soutient que les observations astronomiques sont compatibles avec ses lois relativistes de la gravitation ; en revanche, il n'invoque aucune compensation d'effets dans ce contexte.

## 62.26 G. Darboux et al. au Comité Nobel

[Ca. 01.01.1910]<sup>d</sup>

Rapport sur les Travaux d'ordre physique de M<sup>r</sup> Henri Poincaré<sup>1</sup>

Membre de l'Académie Française

Membre de l'Académie des Sciences

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris

En suivant le développement de la physique il est impossible de méconnaître le grand rôle que joue pour cette science les progrès dans le domaine purement théorique. De même que le microscope ou la lunette est devenu l'instrument indispensable pour l'œil de l'observateur, de même, mais à un degré plus profond et plus universel, les mathématiques sont devenues l'instrument dont la pensée humaine ne peut plus se passer si elle veut pénétrer les secrets de la nature.

En effet on pourrait dire que la physique moderne est née à l'époque où Newton et Leibnitz ont posé les fondements de l'analyse moderne. Depuis lors la physique n'a pas cessé d'avoir dans le domaine mathématique des exigences de plus en plus grandes, tandis que d'un autre côté, les progrès de la théorie ont fait prévoir bien des phénomènes nouveaux et ont forcé les expérimentateurs à imaginer des méthodes d'observation d'une perfection toujours croissante.

Pour bien mettre en évidence la nature de l'influence mutuelle de la physique et des mathématiques il est peut-être bon d'en considérer quelques exemples.

Parmi les problèmes les plus simples qui se présentent dès l'abord en physique se trouve le problème de la distribution de l'électricité en équilibre sur un conducteur. Ce problème célèbre qui porte le nom de Dirichlet, posé au commencement du 19<sup>ème</sup> siècle n'a pas cessé jusqu'à nos jours d'attirer l'attention des géomètres les plus éminents : l'on peut dire que l'histoire des théories concernant ce problème se confondrait presque avec l'histoire de la théorie moderne des fonctions analytiques.

Le problème de Dirichlet ne fut d'abord résolu que dans des cas extrêmement particuliers par exemple pour un conducteur de forme sphérique ou ellipsoïdale. Quoique ces solutions aient rendu des services assez grands à la physique expérimentale, il est clair que l'absence d'une solution générale du problème de Dirichlet était un inconvénient très

<sup>d</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 3 Jan. 1910. Härtill I bilaga."

grave pour l'expérimentateur, et que cet inconvénient devenait de plus en plus sensible à mesure que la précision des observations augmentait.

Ce que nous venons de dire du problème de l'équilibre de l'électricité s'applique sans modification aux autres problèmes de la physique mathématique, et ainsi les progrès de la théorie sont indispensables pour les progrès de la science dans sa totalité. Mais ce n'est pas seulement la précision croissante des observations qui rend désirable des solutions exactes et générales des problèmes de la physique mathématique.

A mesure que la physique veut pénétrer le mécanisme intérieur et caché des choses, le rôle de l'hypothèse gagne en importance, et dans la même mesure croît le besoin du physicien d'un instrument analytique d'une perfection de plus en plus grande.

Mais nous ne voulons pas insister davantage sur ces faits bien connus de chaque physicien ; nous avons seulement voulu rappeler comment les progrès de la physique mathématique sont liés intimement aux progrès de la science physique en sa totalité.

Celui des savants modernes ayant le plus contribué à la solution générale et exacte des problèmes de la physique mathématique est sans doute *Henri Poincaré*.

Dans son travail "Les équations aux dérivées partielles de la Physique Mathématique" publié dans le tome 12 de l'*American Journal of Mathematics*, il a le premier exposé une solution générale du problème de l'équilibre de l'électricité. Dans un autre travail sur le même sujet publié [en] 1894 dans les *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo* il a traité avec le même succès des problèmes encore plus difficiles, ceux de la conduction de la chaleur et des vibrations d'une membrane. Dans le même travail et dans un autre travail publié dans le tome 20 des *Acta Mathematica*, il a introduit la notion des fonctions fondamentales et a mis en évidence des propriétés analytiques très cachées des solutions de ces problèmes et du problème de Dirichlet, propriétés qui ont conduit plus tard à des méthodes permettant la solution complète d'un grand nombre d'autres problèmes de la physique mathématique. Tous ces travaux sont de la plus haute portée et les problèmes que Poincaré a résolus doivent être comptés parmi les plus difficiles qui aient jamais été posés aux géomètres.

Nous insistons aussi sur ce fait que les solutions qu'a proposées Poincaré sont générales, c'est à dire qu'elles s'appliquent par exemple, s'il s'agit du problème de Dirichlet, au cas d'un conducteur de forme arbitraire. Il fallait aussi dans ces théories chercher une solution générale, car le nombre de cas où on pourrait espérer trouver une solution se réduisant à des fonctions connues était probablement épuisé.

Il n'en est pas ainsi dans beaucoup d'autres parties de la Physique Mathématique et on doit aussi à Poincaré un nombre de solutions particulières des équations de la Physique Mathématique, solutions souvent directement liées à quelques résultats nouveaux de nature expérimentale. Il en est ainsi pour le mémoire "Sur la polarisation par diffraction" publié dans les *Acta Mathematica* t. 16.

La théorie de Fresnel sur la diffraction est purement géométrique ; c'est à dire que si elle était rigoureuse, la nature des parois et même l'épaisseur des écrans ne devraient exercer aucune influence sur les phénomènes. Les expériences de Gouy ont montré qu'il n'en était pas toujours ainsi. En déduisant la solution des équations de la théorie électromagnétique de la lumière dans un cas particulier, Poincaré a donné l'explication des faits signalés par Gouy et montré combien la théorie de Fresnel devient insuffisante dans cer-

tains cas. Depuis M. Sommerfeld a repris la méthode de Poincaré pour étudier tous les cas intermédiaires entre les deux cas extrêmes, celui de Fresnel qui est le plus ordinaire et celui de Gouy auquel Poincaré avait appliqué son analyse.<sup>2</sup>

Dans une autre théorie très actuelle et très délicate, à savoir la théorie des électrons, on doit aussi à Poincaré des résultats de la plus haute importance. Poincaré, dans les *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo*, a considéré les forces qui agissent entre les diverses parties d'un électron et il a trouvé que la célèbre hypothèse de Lorentz sur la contraction des corps en mouvement peut être rendue très probable, si on la considère dans ses rapports avec le principe de relativité. Non moins important est le résultat auquel parvient Poincaré relativement à la gravitation universelle.

On a souvent posé la question de savoir si la gravitation ne met pas un certain temps pour se propager mais depuis Laplace on a généralement admis que les observations astronomiques montrent le contraire. Cependant Poincaré a démontré, dans le travail précité, que la manière dont on a attaqué la question n'était pas la bonne et qu'il est compatible avec les observations que la vitesse de propagation de la gravitation ne dépasse pas même celle de la lumière.<sup>3</sup>

Ces travaux suffiraient déjà à mettre Poincaré au premier rang des savants qui s'occupent de physique mathématique ; mais M. Poincaré a en outre publié un grand nombre de travaux touchant à toutes les questions vitales de la physique moderne. Il nous reste maintenant à donner quelques indications qui seront nécessairement sommaires, sur la nature le but et la portée de ces différents travaux.

#### *Cours de physique mathématique*

Ces cours ont été professés pendant 10 ans. Les volumes en question, souvent réimprimés, contiennent surtout une comparaison et un examen critique des différentes théories proposées.

Dans la *théorie mathématique de la lumière*, le fait que cette comparaison met surtout en évidence, c'est l'impossibilité de décider entre deux sortes de théories optiques, celles qui regardent la vibration comme perpendiculaire au plan de polarisation et celles qui la regardent comme parallèle. Cette impossibilité est foncière et tient à la nature des choses. Ces volumes contiennent également des parties nouvelles, en ce qui concerne la diffraction et la propagation rectiligne de la lumière.

*Electricité et optique*, les *Oscillations électriques* contiennent la discussion approfondie et la mise au point des théories de Maxwell, de Hertz, de Larmor et de Lorentz.

Dans la *Thermodynamique* la partie nouvelle est la démonstration générale du théorème de Clausius (dont la généralité était alors contestée par Bertrand) et cela par deux méthodes différentes.

*La théorie de la propagation de la chaleur* contient plusieurs procédés nouveaux pour les développements en séries des fonctions dites *fondamentales*, importante découverte de l'auteur.

#### *Ondes hertziennes.*

On a d'abord comparé les ondes hertziennes aux ondes sonores ou lumineuses ordinaires qui ne sont pas amorties. On a été ainsi conduit à des prévisions qui n'ont pas été confirmées par l'expérience, et ces contradictions ont paru fort embarrassantes à un certain moment. Tel a été par exemple le phénomène de la résonance multiple découvert par Sa-



razin et de la Rive. Poincaré, le premier, a montré que ces contradictions s'expliquaient par l'amortissement des ondes.<sup>4</sup> Cette explication a été retrouvée un peu après, et sans doute d'une manière tout-à-fait indépendante, par Bjerknæs.<sup>5</sup> Le rôle de cet amortissement est d'ailleurs capital dans la théorie de la télégraphie sans fil. Nous citerons aussi une Note des *Comptes Rendus* où Poincaré a introduit, le premier ou un des premiers, la notion du *potentiel retardé*.<sup>6</sup>

*Conférences de l'École de télégraphie.*

L'équation des télégraphistes nous fait connaître les lois de la propagation d'une perturbation électrique dans un fil. Poincaré a intégré cette équation par une méthode générale applicable à un grand nombre de questions analogues. Le résultat varie suivant la nature des appareils récepteurs placés sur la ligne, ce qui se traduit mathématiquement par un changement dans les équations aux limites ; mais la même méthode permet de traiter tous les cas.<sup>7</sup>

Dans une seconde série de conférences, il a étudié le récepteur téléphonique, mettant particulièrement en évidence le rôle des courants de Foucault dans la masse de l'aimant.<sup>8</sup> Enfin dans une troisième série de conférences, il a traité les diverses questions mathématiques relatives à la *Télégraphie sans fil*. Émission, champ en un point éloigné ou rapproché, diffraction, réception, résonance, ondes dirigées, ondes entretenues.<sup>9</sup> Rappelons que ces conférences ont été publiées.

*Théorie cinétique des gaz.*

Le cours fait sur ce sujet n'a pas été publié ; mais Poincaré a donné dans la *Revue générale des Sciences* un article où il examinait et résultait certaines objections faites par Lord Kelvin au théorème de Boltzmann-Maxwell.<sup>10</sup> Dans le *Journal de Physique* il a cherché à concilier cette théorie avec l'irréversibilité des phénomènes, ce qui est la grande difficulté ; et pour éclaircir la question, il examine ce qui se passerait dans diverses hypothèses, plus ou moins éloignées du cas de la nature, telles que seraient celle d'un gaz à une dimension ou de gaz très raréfiés.<sup>11</sup>

*Théorie de Lorentz.*

Poincaré a eu à examiner différentes conséquences de la théorie de Lorentz. Il a montré qu'elle était incompatible avec le principe d'égalité de l'action et de la réaction et fait voir comment il conviendrait de modifier ce principe pour le mettre d'accord avec la nouvelle théorie.<sup>12</sup> Ce résultat, rappelons le, a servi de point de départ à Max Abraham pour le calcul par lequel il a démontré que la masse des électrons est d'origine purement électrodynamique et que leur masse transversale diffère de leur masse longitudinale.<sup>13</sup>

*Rayons cathodiques.*

Parmi les nombreuses notes publiées sur ce sujet, nous signalerons plus particulièrement celle où il a déterminé la forme de ces rayons dans un champ magnétique intense et non uniforme. Ce résultat a été souvent utilisé dans les différentes théories qui ont été données de l'Aurore boréale.<sup>14</sup>

*Electrotechnique.*

Poincaré a traité dans plusieurs articles diverses questions d'électrotechnique, il a mis en évidence le rôle des contacts glissants, dans les phénomènes dits d'induction unipolaire sur lesquels les techniciens discutaient à perte de vue ; il a montré que la théorie ordinairement admise de la commutation était inadmissible.<sup>15</sup> D'autre part, il a démontré



rigoureusement et d'une manière générale, l'impossibilité d'une machine autoexcitatrice, sans collecteur, et sans condensateur.<sup>16</sup>

*Conférences philosophiques.*

Ce sont les conférences faites au Congrès de physique en 1900 et au Congrès international de Saint Louis. Elles ont été reproduites dans des ouvrages que nous citons volontiers ici ; car ils ont fait penser beaucoup d'hommes de science et de physiciens : *Science et hypothèse*, *La valeur de la Science* et enfin le volume tout récent : *Science et méthode*. On sait que ces volumes ont été traduits ou vont être traduits en allemand.<sup>17</sup>

*Articles de vulgarisation.*

Nous ne parlerions pas de ces articles si nous n'avions pas à signaler un fait qui montre l'influence qu'ils ont exercée. C'est dans l'un deux qu'Henri Poincaré s'est demandé s'il n'y avait pas de lien entre la phosphorescence et les rayons X et s'il ne conviendrait pas d'expérimenter sur les sels d'uranium, c'est ce qui a déterminé Henri Becquerel, son camarade et son ami, à entreprendre les travaux qui l'ont conduit à la brillante découverte de la radioactivité. Ce fait nous paraît typique. On sait quel champ fécond de belles découvertes a été ainsi ouvert à l'activité des Curie, des Rutherford, etc. . . .<sup>18</sup>

L'exposé que nous venons de faire porte sur des théories si diverses que l'on a peine à croire qu'elles aient pu être approfondies et perfectionnées par un seul homme, alors que cet homme a fait aussi dans d'autres domaines des découvertes de premier ordre. Ainsi nous n'avons pas parlé des découvertes immortelles dans le domaine des mathématiques pures et de la mécanique céleste qui ont élevé Poincaré au premier rang des géomètres et des astronomes de toutes les époques. Nous avons négligé certaines théories où Poincaré a fait des découvertes géniales, telles que celle des figures d'équilibre d'une masse fluide.<sup>19</sup> Nous avons même négligé certains résultats de haut intérêt tel que le suivant, qui figure dans la nouvelle édition de *Thermodynamique*.<sup>20</sup>

On s'est demandé s'il est possible d'expliquer l'irréversibilité des phénomènes physiques par des actions à distance analogues à l'attraction newtonienne. Deux tentatives ont été faites pour répondre à cette question. L'une est fondée sur les lois statistiques et la cinétique des gaz. L'autre est celle de Helmholtz qui se propose d'expliquer l'irréversibilité par des mouvements cachés provenant de forces analogues à la force centrifuge composée. La discussion de Poincaré lui a montré qu'il fallait renoncer à cette dernière tentative.<sup>21</sup>

Si nous nous demandons maintenant quelle est la cause principale des succès qu'a obtenus Henri Poincaré dans tous les domaines de la physique qu'il a abordés, nous pensons qu'elle consiste en ce que Poincaré a pénétré dans la nature des équations différentielles de la physique Mathématique plus profondément qu'aucun savant avant lui et qu'il a su manier, en maître incomparable, cet instrument unique qu'il a adapté avec une habileté sans égale à tous les besoins toujours croissants de la physique moderne.

C'est pour cette raison que nous croyons remplir un devoir en présentant pour le prix Nobel de Physique de l'année 1910 Monsieur Henri Poincaré pour ses découvertes concernant les équations différentielles de la Physique Mathématique.

Gaston Darboux

Secrétaire perpétuel pour les sciences mathématiques et physiques de l'Académie des Sciences de l'Institut de France

Paul Appell  
Doyen de la Faculté des Sciences de Paris  
Ivar Fredholm  
professeur à l'Université de Stockholm

Ci joint l'énumération des Mémoires et travaux de M. Poincaré sous forme de bibliographie analytique par E. Lebon.<sup>22</sup>

**TDS 9p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>G. Mittag-Leffler envoie des exemplaires de ce rapport à des scientifiques renommés, afin de créer un courant de soutien pour la candidature de Poincaré (Crawford, 1984b).

<sup>2</sup>Voir (§ 62.19), notes 25 et 26.

<sup>3</sup>Poincaré suppose (1906f, §9) que la vitesse de propagation de la gravitation est égale à celle de la lumière.

<sup>4</sup>Poincaré (1891c). Édouard Sarasin (§ 52) et Lucien de la Rive (§ 33).

<sup>5</sup>Bjerknes (1891d).

<sup>6</sup>Poincaré (1891d). Voir aussi (§ 62.19), note 30.

<sup>7</sup>Poincaré trouva la solution générale (1893b ; 1894a, 182–188 ; 1904a). Voir aussi (§ 62.19), note 32.

<sup>8</sup>Poincaré (1907b), réédité dans Poincaré (1916–1956, X, 487–539).

<sup>9</sup>Poincaré (1908g).

<sup>10</sup>Poincaré (1894b). A la place de “résultait” il faudrait sans doute comprendre “réfutait”.

<sup>11</sup>Poincaré (1906e).

<sup>12</sup>Poincaré (1900a).

<sup>13</sup>Abraham (1902). Voir aussi (§ 62.19), note 39.

<sup>14</sup>Poincaré (1896j) ; voir aussi (§ 62.19), note 40.

<sup>15</sup>Poincaré (1900e).

<sup>16</sup>Poincaré (1900e, 1908g, 1907c).

<sup>17</sup>Poincaré (1900d, 1904c, 1902d, 1905a, 1908e). Les trois volumes cités ont été traduits en allemand en 1904f, 1906a, and 1914, respectivement.

<sup>18</sup>A propos de la découverte de H. Becquerel, voir (§ 62.19), note 43. Ernest Rutherford (1871–1937) reçoit le prix Nobel de chimie en 1908 “for his investigations into the disintegration of the elements and the chemistry of radioactive substances” (Nobel Foundation, 1998). Mittag-Leffler sollicite son soutien de la candidature de Poincaré, mais Rutherford décline par crainte de voir le prix Nobel de physique décerné aux astronomes et mathématiciens, après la percée en 1909 des inventeurs de la télégraphie sans fil (Rutherford à Mittag-Leffler, 16.01.1910, Institut Mittag-Leffler). Sur cet échange, voir aussi Poincaré (1999, § 257, note 4).

<sup>19</sup>(1902c).

<sup>20</sup>(1908h).

<sup>21</sup>Poincaré (1892i, 417) ; (1908h, 444).

<sup>22</sup>Lebon (1909).

## 62.27 H.A. Lorentz et P. Zeeman au Comité Nobel

Leiden et Amsterdam, le 19 janvier 1910<sup>e</sup>

Au Comité Nobel de physique  
de l'Académie Royale des Sciences à Stockholm  
Messieurs et très honorés Collègues,

En réponse à vos lettres de septembre dernier, dans lesquelles vous avez bien voulu nous demander une proposition pour le prix Nobel de physique qui doit être décerné cette année, nous avons l'honneur de vous déclarer notre entière adhésion au rapport sur les

<sup>e</sup>Le manuscrit porte un cachet : “K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 24.1 1910”.

mérites scientifiques de M. Henri Poincaré qui vous a été présenté par MM. Appell, Darboux et Fredholm.<sup>1</sup> Nous croyons devoir faire cela bien que nous nous soyons permis, ces dernières années, d'appeler votre attention sur l'œuvre de M. van der Waals et M. Kamerlingh Onnes.<sup>2</sup> En effet, ces trois savants, MM. van der Waals, Kamerlingh Onnes et Poincaré ont, chacun dans son domaine spécial, atteint le premier rang, et nous sommes convaincus qu'ils ont, tous les trois, pleinement mérité la haute distinction que votre Académie des sciences aura à accorder.

Veuillez agréer, Messieurs, l'expression de notre haute et sincère considération.

H.A. Lorentz

P. Zeeman

#### ALS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.

<sup>1</sup>Voir (§ 62.26).

<sup>2</sup>Le prix Nobel de physique de 1910 ira à J.D. van der Waals pour son travail sur l'équation d'état des liquides et des gaz, et le prix de 1913 ira à H. Kamerlingh Onnes pour ses études de la matière à température basse.

## 62.28 E. Bouty et al. au Comité Nobel

[Ca. 28.01.1910]<sup>1</sup>

A Monsieur le Président du Comité Nobel de Physique

Monsieur le Président,

Nous avons l'honneur, en nous appuyant sur le rapport détaillé fait par MM. Fredholm, Darboux et Appell de vous proposer M. Poincaré pour le prix Nobel de Physique de l'année 1910 à cause de « ses découvertes concernant les équations différentielles de la Physique mathématique ».<sup>2</sup>

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de notre haute considération.

E. Bouty, Membre de l'Institut, Professeur de Physique à la Faculté des Sciences

Paul Janet, Professeur de Physique à Faculté des sciences de Paris, Directeur du laboratoire Central et de l'Ecole Supérieure d'Electricité

C. Vélain, Professeur de Géo-physique à la faculté de sciences

Paul Appell, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris

J. Boussinesq, Professeur de Physique Mathématique à la Faculté des sciences

Paul Painlevé, Membre de l'Académie des sciences de Stockholm, Membre de l'Académie des sciences de Paris, Professeur à la Faculté des sciences, Professeur du Cours de Mécanique et Machines à l'Ecole Polytechnique

M. Curie, Professeur à la Faculté des sciences

G. Darboux, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

Andoyer, Professeur à la Faculté des sciences

P. Duhem, Correspondant de l'Institut de France, professeur de Physique théorique à l'Université de Bordeaux

Marcel Brillouin, Professeur au Collège de France

G. Lippmann de l'Institut  
Maurice Levy (de l'Institut)

**TLS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 30.1 1910".

<sup>2</sup>Poincaré (1890d, 1894c).

## 62.29 Rapport sur les travaux de H.A. Lorentz

[Ca. 31.01.1910]<sup>f</sup>

Le principal titre de M. Lorentz est la théorie dans laquelle il a cherché à réunir dans une vaste synthèse tous les phénomènes connus de l'Électricité et de l'Optique. La théorie de Fresnel laissait subsister bien des difficultés ; Fresnel cherchant à se rendre compte des conditions dans lesquelles se produit l'aberration de la lumière, avait reconnu que les lois de la réfraction ne sont pas altérées par le mouvement de la Terre et que la position apparente d'une étoile reste la même qu'on l'observe à travers une lunette pleine d'air ou pleine d'eau. Pour expliquer ces phénomènes, il avait supposé que l'éther est partiellement entraîné par le mouvement de la matière et que la fraction ainsi entraînée est égale à  $1 - \frac{1}{n^2}$ ,  $n$  étant l'indice de réfraction. Ses vues avaient été confirmées par une expérience de Fizeau. Mais  $n$  n'est pas le même pour toutes les couleurs, et on ne s'expliquait pas bien comment la fraction d'éther entraînée par la matière différerait, selon que cet éther était traversé par de la lumière rouge ou par de la lumière violette.

La théorie de Maxwell, en rattachant l'optique à l'électricité, n'avait pas fait disparaître la difficulté ; traduction mathématique des idées de Faraday, elle supprimait pour ainsi dire l'électricité, qui cessait d'être une substance pour n'être plus qu'une intégrale ; le rôle le plus important était attribué aux lignes de force, aux milieux diélectriques et à leurs propriétés diverses. Non seulement la question de l'aberration devenait plus difficile encore à résoudre, mais les phénomènes nouveaux des rayons cathodiques, et l'électrolyse elle-même avaient peine à trouver leur place dans les cadres établis par Maxwell.

M. Lorentz a modifié profondément la théorie de Maxwell. Pour lui l'éther dans le vide se comporte comme le supposait Maxwell, mais il se comporte encore de la même manière, non seulement dans le vide, mais dans tous les milieux, transparents ou non. L'éther a partout la même densité, partout la même élasticité, il est d'ailleurs absolument immobile, si l'on fait abstraction de ses variations périodiques, que l'on regardait autrefois comme des vibrations, qui sont peut-être de nature toute différente, mais qui même s'ils sont de petits mouvements, n'altèrent pas la position moyenne de chacune de ses parties. Seulement dans ce milieu uniforme, sont distribués de petits corpuscules électrisés appelés électrons. Dans les milieux transparents, ces électrons ne peuvent s'écarter beaucoup de leur position moyenne à laquelle les ramène sans cesse une sorte d'élasticité ; ils ne peuvent donc

---

<sup>f</sup>Le manuscrit porte deux cachets, "Institut de France – Académie des Sciences", et "Académie des Sciences – Archives", ainsi que trois annotations de main inconnue : "Comité secret du 31 Janvier 1910", "(Relu le 21 novembre 1910)", et "Rapport de M. Poincaré sur les travaux de M. Lorentz".

subir que de petites oscillations. Si la lumière s'y propage plus lentement que dans le vide, c'est qu'elle ne peut avancer sans mettre en branle ces électrons.

Dans les milieux conducteurs, les électrons se déplacent librement, arrêtés seulement quand ils arrivent à la surface du corps métallique ; dans ce déplacement ils subissent une sorte de frottement et c'est pour cela que les conducteurs s'échauffent.

On peut aussi rendre compte aisément des paradoxes relatifs à l'aberration ; mais la théorie conduisait à prévoir un phénomène inconnu. Si les gaz incandescents émettent de la lumière, c'est que par suite de l'élévation de température, leurs électrons se mettent à vibrer et que cet ébranlement se communique à l'éther.<sup>g</sup> Si cette lumière est d'une longueur d'onde déterminée, c'est que cette longueur d'onde correspond à la période propre de vibration de l'électron. Mais si ce corpuscule est électrisé, il doit être sensible à l'influence d'un champ magnétique ; ce champ devra donc altérer sa période et par conséquent déplacer la raie d'émission du gaz.<sup>h</sup> La vérification expérimentale fut faite par Zeeman, avec un plein succès. Je n'insisterai ici ni sur l'importance du phénomène de Zeeman en spectroscopie, ni sur les travaux théoriques et expérimentaux auxquels il a donné lieu. Comme il arrive toujours, les phénomènes observés, tout en se moulant à peu près sur les phénomènes prévus, en différaient par quelques détails, mais Lorentz a pu, sans peine, par des modifications peu importantes et suffisamment plausibles apportées à sa théorie, rendre compte de toutes ces divergences. A la suite de cette découverte retentissante, le prix Nobel fut attribué à MM. Lorentz et Zeeman.<sup>1</sup>

Cependant la théorie recevait de nouveaux développements ; de nouvelles difficultés surgissaient du côté de l'aberration. Sous sa première forme, la théorie rendait compte des faits avec une approximation qui paraissait très supérieure à celle qu'on pouvait attendre des expériences. Mais Michelson, l'habile physicien américain, poussa la précision à un degré que personne n'avait prévu, et à sa grande surprise, le principe de relativité reçut une confirmation beaucoup plus complète qu'il ne s'y attendait.<sup>2</sup> Rappelons en quoi consiste ce principe ; il nous apprend que par aucun moyen expérimental, nous ne pourrions connaître les vitesses absolues des corps, mais seulement leurs vitesses relatives. On l'admettait dans l'ancienne mécanique, mais l'ancienne Optique en faisait bon marché, puisqu'elle fournissait le moyen de comparer la vitesse absolue des corps à la vitesse de la lumière ; cela répugnait aux métaphysiciens mais on s'en tirait en disant que ce qu'on mesurait, ce n'était pas la vitesse absolue d'un corps, mais sa vitesse relative par rapport à l'éther. Depuis l'expérience de Michelson, cette position n'est plus tenable, il est impossible de déceler autre chose que les vitesses relatives des corps les uns par rapport aux autres, mais nous devons renoncer à connaître aussi bien leurs vitesses relatives par rapport à l'éther que leurs vitesses absolues.<sup>1</sup> Et ce principe doit être regardé comme rigoureux et non pas seulement comme approché.

Pour rendre compte de ces faits nouveaux, Lorentz et FitzGerald introduisirent une hypothèse qui semble d'abord presque saugrenue. Ils supposent que tous les corps matériels subissent lorsqu'ils sont en mouvement une petite compression dans le sens du mouve-

<sup>g</sup>Variante : "Si les ~~corps~~ ...".

<sup>h</sup>Variante : "Mais si l'~~électron~~ ...".

<sup>1</sup>Variante : "il est impossible de ~~connaître~~ ...".

ment. Quelque répugnance que nous ayons à admettre une semblable hypothèse, nous y sommes bien contraints puisqu'elle n'est que la traduction immédiate de l'expérience même de Michelson.<sup>3</sup>

En même temps la théorie de Lorentz donnait lieu à un grand mouvement d'idées ; M. Abraham remarquait que la masse apparente d'un corpuscule électrisé se composait de deux parties, sa masse réelle d'une part, et l'inertie due aux phénomènes électromagnétiques ; ce corps électrisé quand il est en mouvement est assimilable à un courant ; il possède donc une self-induction qui est une véritable inertie.<sup>4</sup> La vitesse des rayons du radium est assez grande pour qu'on puisse faire la part de ces deux inerties ; l'expérience fut faite par Kaufmann qui arriva à un résultat inattendu ; la masse réelle du corpuscule est nulle.

Cette expérience permit à Lorentz de donner à sa théorie sa forme définitive. Il n'y a plus d'autre matière que des électrons, et si les molécules des corps matériels nous semblent neutres, c'est qu'elles sont formées d'un grand nombre d'électrons tant positifs que négatifs dont les charges se compensent. Il n'y a pas d'autre force que celles qui sont d'origine électromagnétique. On arrive ainsi à démontrer le principe de relativité dans toute son étendue. Ce principe entraîne comme conséquence nécessaire, non sans doute qu'il n'y a d'autre matière que des électrons, et d'autre force que les forces électromagnétiques, mais tout au moins que la masse de toute matière est variable, et cela d'après les mêmes lois que l'inertie due à la self-induction, et d'autre part que toute force varie d'après les mêmes lois que les forces électromagnétiques.

Il résultait de tout cela une mécanique nouvelle qui pour les vitesses ordinaires inférieures à 10000 kilomètres par seconde, ne diffère pas sensiblement de la mécanique ancienne, mais qui s'en écarte aux grandes vitesses. Tout de suite après la publication du mémoire de Lorentz, Kaufmann essaya une vérification avec les rayons du radium ; cette vérification échoua. Bucherer reprit les expériences en s'affranchissant de certaines causes d'erreur, et cette fois obtint une confirmation complète des vues de Lorentz. On m'a dit que Kaufmann venait par de nouvelles expériences, de confirmer les résultats de Bucherer, mais j'ignore si ses recherches ont déjà été publiées.<sup>5</sup>

Il resterait donc à montrer comment toutes les forces connues peuvent se réduire à des forces électromagnétiques ou à des forces suivant les mêmes lois. C'est là une tâche gigantesque et qui n'est pas près d'être accomplie. Lorentz s'est attaqué seulement à la gravitation. Pour l'expliquer il complique encore son hypothèse ; l'action des électrons positifs ou négatifs les uns sur les autres se fait toujours d'après les mêmes lois, celles qui résultent de la théorie Maxwell-Lorentz ; seulement le coefficient de la formule n'est pas le même, suivant qu'il s'agit de l'action mutuelle de deux électrons de même signe, ou de celle de deux électrons de signe contraire. De cette façon il rend compte d'une part de la loi de Newton aux faibles vitesses et de tous les phénomènes astronomiques observés, et d'autre part il s'assujettit rigoureusement au principe de relativité. L'inconvénient de cette nouvelle conception, c'est que l'état de l'éther ne dépend plus seulement de deux champs, le champ électrique et le champ magnétique, mais de quatre champs dont deux sont électriques et deux magnétiques. Dans notre ignorance de la nature de l'éther, ce n'est pas une raison absolue de rejeter l'hypothèse.

Les conceptions de Lorentz rendent compte également du rayonnement des corps so-

lides incandescents ; dans un corps métallique très chaud, les électrons circulent avec une grande vitesse comme les molécules gazeuses circulent dans un vase d'après la théorie cinétique ; en arrivant à la surface du métal ils se réfléchissent, comme ces molécules gazeuses qui atteignent la paroi du vase ; ce changement brusque de direction produit un ébranlement de l'éther et c'est là la cause de la lumière rayonnée. Lorentz a montré que les conséquences de cette hypothèse concordent avec les lois connues du rayonnement.

Toutefois dans un travail plus récent, il a montré que cette concordance n'est qu'approchée ; que dans une enceinte fermée, jouant le rôle d'un corps noir, la distribution de l'énergie se conformerait d'abord à ce qu'exigent les lois de l'émission des corps noirs ; mais que cette distribution ne serait que provisoire, et que finalement toute l'énergie se trouverait sous forme de lumière de très courte longueur d'onde. Ces vues hardies n'ont pas encore reçues leur confirmation définitive et ne doivent encore être accueillies qu'avec réserve.

J'espère avoir fait comprendre le caractère de la vaste synthèse tentée par M. Lorentz. Cette synthèse n'a pas été stérile ; elle nous a conduit à découvrir un grand nombre de faits nouveaux ; je crois que ces considérations suffisent pour justifier la place que la Commission a attribuée à M. Lorentz sur sa liste de présentation.

#### AD 4p. Archives de l'Académie des sciences.

<sup>1</sup>Poincaré rédigea une lettre de nomination en faveur de Lorentz (§62.7).

<sup>2</sup>Albert A. Michelson (§ 41).

<sup>3</sup>G.F. FitzGerald (1851–1901).

<sup>4</sup>Max Abraham (1874–1922).

<sup>5</sup>Les résultats d'Alfred Bucherer seront confirmés par Günther Neumann en 1914 (A.I. Miller, 1981, 351).

## 62.30 G. Darboux au Comité Nobel

Paris le 25 Septembre 1910.<sup>j</sup>

UNIVERSITÉ DE PARIS – FACULTÉ DES SCIENCES – GÉOMÉTRIE SUPÉRIEURE  
3 rue Mazarine

Messieurs,

En réponse à votre honorable invitation j'ai l'honneur d'appeler votre attention sur les travaux de physique de M. Henri Poincaré dont j'ai déjà énuméré les titres.<sup>1</sup>

Veillez agréer, Messieurs, l'assurance de mes sentiments de haute estime.

G. Darboux

#### ALS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.

<sup>1</sup>Voir (§ 62.26).

<sup>j</sup>Le manuscrit porte un cachet : "K. Vetenskapsakademiens – Nobelkomitéer – Inkom den 28.11.1910."

## 62.31 V. Volterra au Comité Nobel

Rome 25 Janvier 1911<sup>k</sup>

Monsieur le Président du Comité Nobel de Physique de l'Académie Royale des Sciences à Stockholm,

J'ai l'honneur de proposer pour le prix Nobel de Physique de l'année 1911 Monsieur Henri Poincaré, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, pour ses découvertes concernant les équations différentielles de la Physique mathématique. J'ai déjà fait cette proposition l'année passée en m'appuyant sur un rapport détaillé que j'ai uni à la même proposition.<sup>1</sup> Je prie l'honorable Comité Nobel de vouloir prendre en examen une fois encore ce rapport et les autres considérations que j'ai eu l'honneur d'écrire dans cette occasion.

Je dois ajouter que ma persuasion sur l'importance de l'œuvre de M. Poincaré par rapport à la physique n'a fait qu'augmenter par l'étude toujours plus approfondie que j'ai fait de ses travaux.

Il est hors de doute que des travaux analytiques tels que ceux de Laplace, de Fourier, de Cauchy, de Green, de Gauss ont établi les bases théoriques sur lesquelles toutes les branches de la physique se sont développées.<sup>2</sup> C'est pourquoi le rôle des recherches analytiques dans le domaine de la physique ne peut pas être contesté. Je suis d'avis que les travaux classiques de M. Poincaré, dont l'analyse se trouve dans le susdit rapport, sont comparables aux œuvres des maîtres les plus illustres.

Veuillez accepter Monsieur le Président, l'expression de mon plus profond respect.  
Vito Volterra

**ALS 4p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences. Transcrite par Paoloni (1990, 86).**

<sup>1</sup>Voir la lettre de soutien de Volterra du 10.01.1910 (§62.25).

<sup>2</sup>Pierre-Simon Laplace, Joseph Fourier, Augustin-Louis Cauchy, George Green, Carl Friedrich Gauss.

## 62.32 G. Darboux au Comité Nobel

Paris le 15 décembre 1911<sup>l</sup>

UNIVERSITÉ DE PARIS – FACULTÉ DES SCIENCES – GÉOMÉTRIE SUPÉRIEURE  
3 rue Mazarine

Messieurs,

En réponse à votre invitation j'ai l'honneur de recommander de nouveau à votre bienveillance les titres que j'ai déjà exposés de Henri Poincaré au prix Nobel de physique pour l'année 1912.<sup>1</sup>

Veuillez agréer, Messieurs, l'assurance de ma haute considération.

G. Darboux

<sup>k</sup>Le manuscrit porte le cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 30.1 1911".

<sup>l</sup>Le manuscrit porte le cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 18.12.1911".



Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences

**ALS 1p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Darboux soutient la candidature de Poincaré depuis 1904, et chaque année depuis 1909 (§§62.10, 62.12, 62.16, 62.21, 62.26, 62.30).

## 62.33 V. Volterra au Comité Nobel

28 Janvier 1912<sup>m</sup>

Via in Lucina, 17 Roma

Monsieur le Président du Comité Nobel de Physique de l'Académie Royale des Sciences de Stockholm,

J'ai l'honneur de proposer pour le prix Nobel de Physique à décerner en 1912, M<sup>r</sup> Henri Poincaré, professeur à l'Université de Paris, pour ses découvertes dans la physique mathématique. Je m'appuie sur le rapport que j'ai présenté il y a deux ans en faisant la même proposition.

Je l'ai confirmée aussi l'année passée.<sup>1</sup>

J'espère vivement que cette proposition ne rencontrera pas de difficulté dans le Comité et qu'elle sera accueillie, car je suis persuadé que les découvertes de M<sup>r</sup> Poincaré dont l'analyse se trouve dans le rapport que je viens de rappeler, sont telles, qu'il est méritoire de recevoir le prix Nobel de physique.

Néanmoins je propose en seconde ligne, si par hasard la première proposition devrait être écartée, le nom de M<sup>r</sup> Augusto Righi, professeur à l'Université de Bologne pour les découvertes de physique dont j'ai envoyé une relation il y a trois ans.

Veuillez accepter, Monsieur le Président, l'expression de mon plus profond respect.

Prof. Vito Volterra

Membre étranger de l'Académie des Sciences de Stockholm.

**ALS 3p. Nobel Archives of the Royal Swedish Academy of Sciences.**

<sup>1</sup>Volterra soutient la candidature de Poincaré depuis 1910 (§§62.25, 62.31).

<sup>m</sup>Le manuscrit porte le cachet : "K. Vetenskapsakademiens, Nobelkomitéer, Inkom den 31.1.1912".

# Bibliographie

- Abraham, M. Dynamik des Electrons. *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse* (1902) : 20–41.
- . Prinzipien der Dynamik des Elektrons. *Physikalische Zeitschrift* 4 (1903) : 57–63.
- . Die Grundhypothesen der Elektronentheorie. *Physikalische Zeitschrift* 5 (1904) : 576–579.
- Académie des sciences, dir. *Index biographique des membres et correspondants de l'Académie des sciences*. Paris : Gauthier-Villars, 1968.
- Accademia dei Lincei, dir. *Tullio Levi-Civita, Convegno internazionale celebrativo del Centenario*. Rome : Accademia dei Lincei, 1975.
- Ames, J.S. L'équivalent mécanique de la chaleur. In Guillaume et Poincaré (1900–1901), 1 : 178–213, 1900.
- Andersson, K. Poincaré's discovery of homoclinic points. *Archive for History of Exact Sciences* 48 (1994) : 135–147.
- Armstrong, H.E., Foster, M., Klein, F., Köppen, T.P., Poincaré, H., Rücker, A.W., Schwalbe, B., et Weiss, E. International catalogue of scientific literature : Report of the Provisional International Committee. *Science* 10 (1899) : 482–487.
- Arnoux, G. Essais de psychologie et de métaphysique positives ; la méthode graphique en mathématiques. *Association française pour l'avancement des sciences* 20 (1891) : 2 : 241–259.
- Arrhenius, S. *Lehrbuch der kosmischen Physik*. Leipzig : Hirzel, 1903.
- . *L'évolution des mondes*. Paris : Librairie polytechnique, 1910.
- . *Conférences sur quelques thèmes choisis de la chimie physique pure et appliquée : faites à l'université de Paris du 6 au 13 mars 1911*. Paris : Hermann, 1912a.
- . Die Verteilung der Himmelskörper. *Meddelanden från Kungl. Vetenskaps-Akademiens Nobelinstitut* 2.21 (1912b).
- Arzeliès, H. *La dynamique relativiste et ses applications*. 2 vols. Paris : Gauthier-Villars, 1957–1958.
- Arzeliès, H. et Henry, J. *Milieux conducteurs ou polarisables en mouvement*. Paris : Gauthier-Villars, 1959.
- Ascoli, M. Une nouvelle espèce de radiations : les rayons N. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 15 (1904) : 226–242.

- Ashmore, M. The theatre of the blind : Starring a Promethean prankster, a phoney phenomenon, a prism, a pocket and a piece of wood. *Social Studies of Science* 23 (1993) : 67–106.
- Atten, M. La nomination de H. Poincaré à la chaire de physique mathématique et calcul des probabilités de la Sorbonne. *Cahiers du séminaire d'histoire des mathématiques* 9 (1988) : 221–230.
- *Les théories électriques en France (1870–1900) : la contribution des mathématiciens, des physiciens et des ingénieurs à la construction de la théorie de Maxwell*. Thèse, École des hautes études en sciences sociales, 1992.
- Violle, Jules (1841–1923). In *Les professeurs du Conservatoire national des arts et métiers*. 2 vols. Publié par C. Fontanon et A. Grelon, II : 656–666. Paris : INRP, 1994.
- Bäcklund, A.V. Zur Wellentheorie gasartiger Mittel. *Mathematische Annalen* 34 (1889) : 371–446.
- *Ur theorien för de solida kropparnes rörelse*. Lund : Gleerup, 1897.
- Elektrische und magnetische Theorien. *Lunds universitets årsskrift* 34 (1898).
- *Elektrodynamik*. Lund : Gleerup, 1899.
- Baker, H.F. Fourier's series. *Nature* 59 (1899) : 319–320.
- Barkan, D.K. The witches' sabbath : The first International Solvay Congress in physics. *Science in Context* 6 (1993) : 59–82.
- Barrow-Green, J.E. Oscar II's prize competition and the error in Poincaré's memoir on the three body problem. *Archive for History of Exact Sciences* 48 (1994) : 107–131.
- *Poincaré and the Three Body Problem*. Providence : AMS/LMS, 1997.
- Becquerel, H. *Recherches sur l'absorption de la lumière*. Thèse, université de Paris, 1888.
- Explication de quelques expériences de M. G. Le Bon. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 124 (1897a) : 984–988.
- Recherches sur les rayons uraniques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 124 (1897b) : 438–444.
- Sur une interprétation applicable au phénomène de Faraday et au phénomène de Zeeman. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 125 (1897c) : 679–685.
- Influence d'un champ magnétique sur le rayonnement des corps radio-actifs. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 129 (1899a) : 996–1001.
- Note sur quelques propriétés du rayonnement de l'uranium et des corps radio-actifs. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 128 (1899b) : 771–777.
- *Recherches sur une propriété nouvelle de la matière : activité radiante spontanée ou radioactivité de la matière*. Paris : Firmin-Didot, 1903.
- Becquerel, J. Action des anesthésiques sur les sources de rayons N. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904a) : 1159–1163.
- Effets comparés des rayons  $\beta$  et rayons N, ainsi que des rayons  $\alpha$  et des rayons N<sub>1</sub>, sur une surface phosphorescente. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 139 (1904b) : 40–42.
- Sur la nature des charges d'électricité positive et sur l'existence des électrons positifs. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 146 (1908) : 1308–1311.

- Sur l'hypothèse des électrons positifs ; réponse à la note de M. A. Dufour. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 148 (1909) : 546–548.
- Becquerel, J. et Broca, A. Modifications de la radiation des centres nerveux sous l'action des anesthésiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904) : 1280–1283.
- Becquerel, J. et Kamerlingh Onnes, H. Sur les spectres d'absorption des cristaux de terres rares et leurs modifications dans un champ magnétique aux températures de liquéfaction et de solidification de l'hydrogène. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 146 (1908) : 625–628.
- Beer, G. 'The Death of the Sun' : Victorian solar physics and solar myth. In *The Sun is God*. Publié par J.B. Bullen, 159–180. Oxford : Oxford University Press, 1989.
- Belhoste, B. *Cauchy, 1789–1857 : un mathématicien légitimiste au XIXe siècle*. Paris : Belin, 1984.
- Belhoste, B., Dahan Delmedico, A., et Picon, A., dir. *La formation polytechnicienne 1794–1994*. Paris : Dunod, 1994.
- Bensaude-Vincent, B. *Langevin : Science et vigilance*. Paris : Belin, 1987.
- Benz, U. *Arnold Sommerfeld : Lehrer und Forscher an der Schwelle zum Atomzeitalter, 1868–1951*. Stuttgart : Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 1975.
- Bertrand, J. *Leçons sur la théorie mathématique de l'électricité*. Paris : Gauthier-Villars, 1890.
- Bethenod, J. André Blondel (1863–1938). *Revue générale de l'électricité* 44 (1938) : 751–756.
- Bezold, W. von. Untersuchungen über die electricische Entladung. *Annalen der Physik und Chemie* 140 (1870) : 541–552.
- Bichat, E. et Blondlot, R. *Introduction à l'étude de l'électricité statique*. Paris : Gauthier-Villars, 1904.
- Birkeland, K. Electricische Schwingungen in Drähten, directe Messungen der fortschreitenden Welle. *Annalen der Physik und Chemie* 47 (1892) : 583–612.
- Ondes électriques dans les fils ; la dépression de l'onde qui se propage dans des conducteurs. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 116 (1893a) : 93–96.
- Sur la réflexion des ondes électriques à l'extrémité d'un conducteur linéaire. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 116 (1893b) : 803–806.
- Sur les ondes électriques dans des fils ; la force électrique dans le voisinage du conducteur. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 116 (1893c) : 499–502.
- Sur les ondes électriques le long des fils minces ; calcul de la dépression. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 116 (1893d) : 625–628.
- Sur un spectre des rayons cathodiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 123 (1896) : 492–495.
- Sur le spectre des rayons cathodiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 126 (1898a) : 228.
- Sur une analogie d'action entre les rayons lumineux et les lignes de force magnétique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 126 (1898b) : 586.

- . Recherches sur les taches du soleil et leur origine. *Videnskabselskabets skrifter. I, Mat. -naturv. klasse 1* (1899).
- Birkeland, K. et Sarasin, E. Sur la nature de la réflexion des ondes électriques au bout d'un fil conducteur. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 117 (1894) : 618–622.
- Bjerknes, V.F.K. De l'amortissement des oscillations hertziennes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 112 (1891a) : 1429–1431.
- . Sur le mouvement de l'électricité dans l'excitateur de Hertz. *Archives des sciences physiques et naturelles* 26 (1891b) : 229–249.
- . Über die Dämpfung schneller elektrischer Schwingungen. *Annalen der Physik und Chemie* 44 (1891c) : 75–91.
- . Über die Erscheinung der multiplen Resonanz elektrischer Wellen. *Annalen der Physik und Chemie* 44 (1891d) : 92–101.
- . Om anvendelsen af mekanikens principer i fysiken. *Archiv for Mathematik og Naturvidenskab* 15 (1892) : 331–347.
- . Ueber elektrische Resonanz. *Annalen der Physik und Chemie* 55 (1895) : 121–169.
- . *Vorlesungen über hydrodynamische Fernkräfte nach C. A. Bjerknes' Theorie*. 2 vols. Leipzig : Barth, 1900–1902.
- Blondel, A. Sur la théorie des antennes dans la télégraphie sans fil. *Association française pour l'avancement des sciences* 27 (1898) : 2 : 212–216.
- . Quelques remarques sur les effets des antennes de transmission. *Association française pour l'avancement des sciences* 32 (1903) : 2 : 407–414.
- . *Notice sur les travaux scientifiques*. Paris : Gauthier-Villars, 1911.
- Blondlot, R. Détermination expérimentale de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 113 (1891a) : 628–631.
- . Détermination expérimentale de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques. *Journal de physique théorique et appliquée* 10 (1891b) : 549–561.
- . Sur un nouveau procédé pour transmettre des ondulations électriques le long de fils métalliques et sur une nouvelle disposition du récepteur. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892) : 283–286.
- . Sur la propagation des ondes électromagnétiques dans la glace, et sur le pouvoir diélectrique de cette substance. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 119 (1894) : 595–597.
- . Production de forces électromotrices par le déplacement dans le sein d'un liquide soumis à l'action magnétique de masses de conductivités différentes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 128 (1899) : 901–904.
- . Sur l'absence d'action d'un champ magnétique sur une masse d'air qui est le siège d'un courant de déplacement. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 133 (1901a) : 848–850.
- . Sur l'absence de déplacement électrique lors du mouvement d'une masse d'air dans un champ magnétique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 133 (1901b) : 778–781.
- . Sur une méthode propre à déceler de très petites charges électriques. *Comptes rendus*

- hebdomadaires de l'Académie des sciences* 133 (1901c) : 717–719.
- . Action des rayons X sur de très petites étincelles électriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902a) : 1559–1560.
- . Observations et expériences complémentaires relatives à la détermination de la vitesse des rayons X; sur la nature de ces rayons. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 135 (1902b) : 762–766.
- . Sur la vitesse de propagation des rayons X. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 135 (1902c) : 666–670.
- . Sur l'égalité de la vitesse de propagation des rayons X et de la vitesse de la lumière dans l'air. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 135 (1902d) : 721–724.
- . Action d'un faisceau polarisé de radiations très réfringibles sur de très petites étincelles électriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 136 (1903a) : 487–489.
- . Sur la polarisation des rayons X. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 136 (1903b) : 284–286.
- . Sur l'existence, dans les radiations émises par un bec Auer, de rayons traversant les métaux, le bois, etc. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 136 (1903c) : 1120–1123.
- . Sur une nouvelle espèce de lumière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 136 (1903d) : 735–738.
- . Enregistrement, au moyen de la photographie, de l'action produite par les rayons N sur une petite étincelle électrique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904a) : 453–457.
- . *Rayons "N"; Recueil des communications faites à l'Académie des sciences*. Paris : Gauthier-Villars, 1904b.
- . Sur la dispersion des rayons N et sur leur longueur d'onde. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904c) : 125–129.
- . Sur une nouvelle espèce de rayons N. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904d) : 545–547.
- Blondlot, R. et Dufour, M. Sur l'influence exercée sur les phénomènes de résonance électromagnétique, par la dissymétrie du circuit le long duquel se propagent les ondes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892) : 347–349.
- Bôcher, M. Introduction to the Theory of Fourier's Series. *Annals of Mathematics* 7 (1906) : 81–152.
- Bolmont, E. Sur la correspondance Poincaré-Hertz. *Philosophia Scientiae* 1 (1996) : 21–62.
- Bordier, H. *Les rayons N et les rayons N<sub>1</sub>*. Paris : Baillière, 1905.
- Bork, A.M. 'Vectors versus quaternions' – the letters in *Nature*. *American Journal of Physics* 34 (1966) : 202–211.
- Bottazzini, U. *Va' pensiero : immagini della matematica nell'Italia dell'Ottocento*. Bologna : Il mulino, 1994.
- Boulanger, J.A. et Ferrié, G.A. *Les ondes électriques et la télégraphie sans fil*. Nancy : Berger-Levrault, 1899.

- Boussinesq, J.V. Sur les intégrales asymptotes des équations différentielles. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 94 (1882) : 208–210.
- . *Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques*. Paris : Gauthier-Villars, 1885.
- . *Cours d'analyse infinitésimale*. 2 vols. Paris : Gauthier-Villars, 1887.
- . Considérations diverses sur la théorie des ondes lumineuses. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 117 (1893a) : 193–199.
- . Expression de la résistance opposée par chaque molécule pondérable au mouvement vibratoire de l'éther ambiant. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 117 (1893b) : 138–144.
- . Introduction naturelle de termes proportionnels aux déplacements de l'éther (ou termes de Briot), dans les équations de mouvement des ondes lumineuses. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 117 (1893c) : 80–86.
- Boutroux, P. Sur la densité des zéros et le module maximum d'une fonction entière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 132 (1901) : 251.
- . Sur la théorie des fonctions entières. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902) : 82–85.
- Boutroux, P., Hadamard, J., Langevin, P., et Volterra, V. *Henri Poincaré : l'œuvre scientifique, l'œuvre philosophique*. Paris : Alcan, 1914.
- Branly, E. Réclamation de M. Branly. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902) : 132.
- Brigaglia, A. et Masotto, G. *Il circolo matematico di Palermo*. Bari : Dedalo, 1982.
- Brillouin, M.L. Sur les expériences de M. Hertz. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 1 (1890) : 141–143.
- . Compte rendu : H. Poincaré, Électricité et optique II. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 2 (1891a) : 268.
- . Compte rendu et analyse : Henri Poincaré, Électricité et optique. *Bulletin des sciences mathématiques* 15 (1891b) : 129–146.
- . Déformation produite dans un milieu isotrope indéfini par le déplacement d'une sphère solide. *Annales de chimie et de physique* 30 (1893a) : 245–264.
- . Vibrations propres d'un milieu indéfiniment étendu extérieurement à un solide. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 117 (1893b) : 94–96.
- . Compte rendu et analyse : Henri Poincaré, Électricité et optique. *Bulletin des sciences mathématiques* 25 (1901) : 118–127.
- . *Propagation de l'électricité : histoire et théorie*. Paris : Hermann, 1904.
- . Allocution. In *Jubilé de M. Marcel Brillouin : Allocutions prononcées à la cérémonie du 17 décembre 1935*, 29–40. Paris : Gauthier-Villars, 1936.
- Brogie, L. de *Savants et découvertes*. Paris : Albin Michel, 1951.
- . Camille Raveau. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 236 (1953) : 99–100.
- . Préface. In *Poincaré (1916–1956)*, IX : VII–XIII, 1954.
- Brouzeng, P. *Duhem : science et providence*. Paris : Belin, 1987.
- Brunhes, B. Sur la durée d'émission des rayons Röntgen. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 130 (1900) : 1007–1010.



- Bucherer, A.H. *Mathematische Einführung in die Elektronentheorie*. Leipzig : Teubner, 1904.
- Messungen an Becquerelstrahlen; die experimentelle Bestätigung der Lorentz-Einsteinschen Theorie. *Physikalische Zeitschrift* 9 (1908) : 755–62.
- Buchwald, J.Z. *From Maxwell to Microphysics*. Chicago : University of Chicago Press, 1985.
- The Michelson experiment in the light of electromagnetic theory before 1900. In Goldberg et Stuewer (1988) : 55–70.
- *The Creation of Scientific Effects : Heinrich Hertz and Electric Waves*. Chicago : Chicago University Press, 1994.
- Bustamante, M.-C. et Kounelis, C. *La Physique de Paul Langevin : Un savoir partagé*. Paris : Somogy éditions d'art, 2005.
- Calinon, A. Étude critique sur la mécanique. *Bulletin de la société des sciences de Nancy* 7 (1885) : 87–180.
- Carazza, B. et Kragh, H. Augusto Righi's magnetic rays : a failed research program in early 20th-century physics. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 21 (1990) : 1–28.
- Carvalho, E. *Influence du terme de dispersion de Briot sur les lois de la double réfraction*. Thèse, université de Paris, 1890a.
- Mémoire sur l'optique : Influence du terme de dispersion de Briot sur les lois de la double réfraction. *Annales scientifiques de l'École normale supérieure, supplément 7* (1890b) : 3–123.
- Lois de l'énergie électrique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 133 (1901) : 1195–1197.
- *L'Électricité déduite de l'expérience et ramenée au principe des travaux virtuels*. Paris : Naud, 1902a.
- Sur la force électrique due à la variation des aimants. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902b) : 1349–1352.
- *Leçons d'électricité*. Paris : Ch. Béranger, 1904.
- Castelnuovo, G., dir. *Atti del IV congresso internazionale dei matematici*. 3 vols. Rome : Accad. dei Lincei, 1909.
- Cattell, J., dir. *American Men of Science : A Biographical Directory*. Lancaster : The Science Press, 9<sup>e</sup> édition, 1955.
- Cauchy, A.-L. *Œuvres complètes*. 26 vols. Paris : Gauthier-Villars, 1882–1938.
- Cazenobe, J. Limailles, lampes et cristaux ; essai sur l'origine de l'électronique. *Cahiers d'histoire et philosophie des sciences* 15 (1986) : 41–42.
- Charle, C. et Telkes, E. *Les professeurs du Collège de France 1901–1939 : Dictionnaire biographique*. Paris : Éditions du CNRS, 1988.
- *Les professeurs de la faculté des sciences de Paris (1901–1939)*. Paris : Éditions du CNRS, 1989.
- Charpentier, A. Émission de rayons  $n$  (rayons de Blondlot) par l'organisme humain, spécialement par les muscles et par les nerfs. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 137 (1904) : 1049–1051.
- Clark, R.W. *Einstein : The Life and the Times*. New York/Cleveland : World Publishing,



- 1971.
- Coelho Abrantès, P.C. *La réception en France des théories de Maxwell concernant l'électricité et le magnétisme*. Thèse, université de Paris 1, 1985.
- Cohn, E. et Zeemann, P. Beobachtungen über Ausbreitung elektrischer Wellen im Wasser. *Annalen der Physik und Chemie* 57 (1896) : 15–23.
- Colardeau, E. Sur la durée d'émission des rayons Röntgen. *Séances de la société française de physique* (1901) : 113–117.
- Colley, R. Ueber einige neue Methoden zur Beobachtung elektrischer Schwingungen und einige Anwendungen derselben. *Annalen der Physik und Chemie* 26 (1885) : 432–456.
- Combes, C. Supplément au traité de l'aérage des mines. *Annales des mines* 18 (1840) : 545–666.
- Commission permanente du répertoire, dir. *Index du répertoire bibliographique des sciences mathématiques*. Paris : Gauthier-Villars, 1893.
- Cornu, A. Observations relatives à la Communication précédente. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 110 (1890) : 75–76.
- Sur les objections faites à l'interprétation des expériences de M. Wiener. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 112 (1891a) : 365–370.
- Sur une expérience récente, déterminant la direction de la vibration dans la lumière polarisée. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 112 (1891b) : 186–189.
- Recherches expérimentales sur l'électrodynamique des corps en mouvement par Victor Crémieu, Ingénieur agricole. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 12 (1901) : 981–982.
- Cosserat, E. et Cosserat, F. Principes de la mécanique rationnelle, exposé d'après l'article allemand d'A. Voss. In *Mécanique générale*. 7 vols. Publié par P. Appell et J. Molk, 1–187. Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées 4. Paris/Leipzig : Gauthier-Villars, 1915.
- Crawford, E. *The Beginnings of the Nobel Institution : the Science Prizes, 1901–1915*. Cambridge : Cambridge University Press, 1984a.
- Le prix Nobel manqué de Henri Poincaré : définitions du champ de la physique au début du siècle. *Bulletin de la société française de physique* 54 (1984b) : 19–22.
- The benefits of the Nobel prizes. In *Science in Sweden : The Royal Swedish Academy of Sciences, 1739–1989*. Publié par T. Frängsmyr, 227–248. Canton, MA : Science History Publications, 1989.
- *Arrhenius : From Ionic Theory to the Greenhouse Effect*. Canton MA : Science History Pubs, 1996.
- Crémieu, V. Recherches sur l'existence du champ magnétique produit par le mouvement d'un corps électrisé. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 130 (1900a) : 1544–1549.
- Sur les expériences de M. Rowland relatives à l'effet magnétique de la “ convection électrique ”. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 131 (1900b) : 797–800.
- Recherches sur le champ magnétique produit par des variations magnétiques. *Annales de chimie et de physique* 24 (1901a) : 85–118.

- Recherches sur l'effet magnétique de la convection électrique. *Annales de chimie et de physique* 24 (1901b) : 145–204.
- Répétition des expériences de M. Rowland relatives à la convection électrique. *Annales de chimie et de physique* 24 (1901c) : 299–320.
- Reply to Mr. Wilson's article entitled "On the magnetic effect of electric convection, and on Rowland's and Crémieu's experiments". *Philosophical Magazine* 2 (1901d) : 235–237.
- Anomalies présentées par la charge de conducteurs isolés sur des diélectriques solides ; phénomènes magnétiques particuliers constatés au voisinage de nœuds d'oscillations électriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 135 (1902a) : 153–155.
- Nouvelles recherches sur les courants ouverts. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 135 (1902b) : 27–30.
- Balance azimutale quadrifilaire. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904a) : 893–895.
- Sensibilité de la balance azimutale. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904b) : 1090–1093.
- Attraction observée entre gouttes liquides suspendues dans un liquide de même densité. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 140 (1905a) : 80–83.
- Dispositif auto-amortisseur applicable aux mouvements pendulaire et oscillatoire. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 140 (1905b) : 1029–1031.
- Recherches expérimentales sur la gravitation. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1905c) : 485–499.
- Recherches sur la gravitation. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 141 (1905d) : 653–655.
- Recherches sur la gravitation. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 143 (1906) : 887–889.
- Sur une erreur systématique qui limite la précision de l'expérience de Cavendish. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 150 (1910) : 863–866.
- Crémieu, V. et Malclès, L. Recherches sur les diélectriques solides. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 139 (1904a) : 790–792.
- Recherches sur les diélectriques solides. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 139 (1904b) : 969–972.
- Crémieu, V. et Pender, H. On the magnetic effect of electric convection. *Philosophical Magazine* 6 (1903a) : 442–464.
- Recherches contradictoires sur la convection électrique. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1903b) : 33\*–34\*.
- Crew, H. Biographical memoir of Joseph Sweetman Ames, 1864–1943. *National Academy of Sciences Biographical Memoirs* 23 (1944) : 181–201.
- Curie, M.S. *Pierre Curie*. Paris : Odile Jacob, 1996.
- Curie, P. Sur la symétrie dans les phénomènes physiques. *Journal de physique théorique et appliquée* (1894) : 393–415.
- Remarques à propos d'une note récente de M. G. Le Bon. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 130 (1900) : 1072–1073.

- Cuvaj, C. *A History of Relativity : The Role of Henri Poincaré and Paul Langevin*. Thèse, Yeshiva University, 1970.
- Darrigol, O. The electrodynamic revolution in Germany as documented by early German expositions of 'Maxwell's theory'. *Archive for History of Exact Sciences* 45 (1993) : 189–280.
- The electron theories of Larmor and Lorentz : a comparative study. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 24 (1994) : 265–336.
- Henri Poincaré's criticism of fin de siècle electrodynamics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 26 (1995) : 1–44.
- *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford : Oxford University Press, 2000a.
- Poincaré, Einstein, et l'inertie de l'énergie. *Comptes rendus de l'Académie des sciences IV*, 1 (2000b) : 143–153.
- *Worlds of Flow : A History of Hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl*. Oxford : Oxford University Press, 2005.
- DeKosky, R.K. William Crookes and the fourth state of matter. *Isis* 67 (1976) : 36–60.
- Drude, P. Ueber Fernwirkungen. *Annalen der Physik und Chemie* 62 (1897a) : ix–xlix.
- Zwei Methoden zur Messung der Dielektrizitätskonstante und der elektrischen Absorption bei schnellen Schwingungen. *Zeitschrift für physikalische Chemie* 23 (1897b) : 267–325.
- Dufour, A. Sur l'existence d'électrons positifs dans les tubes à vide. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 148 (1909) : 481–484.
- Duhem, P. De l'aimantation par influence. *Annales de la faculté des sciences de Toulouse* 2 (1888) : L1–L138.
- Duporcq, E., dir. *Comptes rendus du IIe Congrès international des mathématiciens*. Paris : Gauthier-Villars, 1902.
- Ebert, H. *Lehrbuch der Physik, Bd. 1 : Mechanik, Wärmelehre*. Leipzig : Teubner, 1912.
- Eckert, M. Mathematics, experiments, and theoretical physics : The early days of the Sommerfeld school. *Physics in Perspective* 1 (1999) : 238–252.
- Eckert, M. et Pricha, W. Boltzmann, Sommerfeld und die Berufungen auf die Lehrstühle für theoretische Physik in Wien und München 1890–1917. *Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft für Geschichte der Naturwissenschaften* 4 (1984) : 101–119.
- Eckert, M., Pricha, W., Schubert, H., et Torkar, G. *Geheimrat Sommerfeld—Theoretischer Physiker : Eine Dokumentation aus seinem Nachlass*. Munich : Deutsches Museum, 1984.
- Eddington, A.S. Joseph Larmor 1957–1942. *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society* 4 (1942) : 197–207.
- Egeland, A. et Burke, W.J. *Kristian Birkeland : The First Space Scientist*. Berlin : Springer, 2005.
- Ehrenfest, P. Welche Züge der Lichtquantenhypothese spielen in der Theorie der Wärmestrahlung eine wesentliche Rolle ? *Annalen der Physik* 36 (1911) : 91–118.
- Ehrenfest, P. et Ehrenfest, T. Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik. In *Mechanik*. Publié par F. Klein et C. H. Müller. Encyclopédie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen IV, II : 3–90. Leipzig : Teubner, 1912.

- Eichenwald, A. Über die magnetischen Wirkungen elektrischer Konvektion. *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* 5 (1908) : 82–98.
- Einstein, A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik* 17 (1905) : 891–921.
- . *The Swiss Years : Correspondence, 1902–1914*. Publié par M.J. Klein, A.J. Kox, et R. Schulmann. Princeton : Princeton University Press, 1993.
- Epple, M. Topology, matter, and space, I : Topological notions in 19th-century natural philosophy. *Archive for History of Exact Sciences* 52 (1998) : 297–392.
- Feynman, R.P. *The Feynman Lectures on Physics*. 3 vols. Redwood City, CA : Addison-Wesley, 1963–1965.
- Fichera, G. Vito Volterra and the birth of functional analysis. In *Development of Mathematics 1900–1950*. Publié par J.-P. Pier, 171–184. Basel : Birkhäuser, 1994.
- Firth, I. N-rays : Ghost of scandal past. *New Scientist* 44 (1969) : 642–643.
- FitzGerald, G.F. M. Poincaré and Maxwell. *Nature* 45 (1892) : 532–533.
- Fizeau, H. Sur les hypothèses relatives à l'éther lumineux, et sur une expérience qui paraît démontrer que le mouvement des corps change la vitesse avec laquelle la lumière se propage dans leur intérieur. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 33 (1851) : 349–355.
- Fölsing, A. *Heinrich Hertz : eine Biographie*. Hamburg : Hoffmann/Campe, 1997.
- Forman, P. et Hermann, A. Sommerfeld, Arnold. In Gillispie et Holmes (1970–1990), XII : 525–532, 1975.
- Foucault, L. *Recueil des travaux scientifiques*. 2 vols. Publié par C.-M. Gariel. Paris : Gauthier-Villars, 1878.
- Franklin, A. *The Rise and Fall of the Fifth Force*. New York : AIP, 1993.
- Fricke, R. Automorphe Funktionen mit Einschluß der elliptischen Modulfunktionen. In *Analysis*. Publié par H. Burkhardt et W. Wirtinger. Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen II, II : 348–470. Leipzig : Teubner, 1913.
- Friedman, R.M. *Appropriating the Weather : Vilhelm Bjerknes and the Construction of a Modern Meteorology*. Ithaca : Cornell University Press, 1989.
- Galdabini, S. et Giuliani, G. Physics in Italy between 1900 and 1940 : The universities, physicists, funds, and research. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 19 (1988) : 115–36.
- Galison, P. *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*. New York : Norton, 2003.
- Gauja, P. *Les fondations de l'Académie des sciences (1881–1915)*. Hendaye : Impr. de l'Obs. d'Abbadia, 1917.
- Gerlach, W. Ebert, Hermann. In *Neue deutsche Biographie* IV : 256–257. Berlin : Duncker & Humblot, 1971.
- Gibbs, J.W. Fourier's series. *Nature* 59 (1898) : 200.
- . Fourier's series. *Nature* 59 (1899) : 606.
- . *Elementary Principles in Statistical Mechanics*. New York : Charles Scribner's Sons, 1902.
- . *The Collected Works of J. Willard Gibbs*. New Haven : Yale University Press, 1928.
- Gidel, P., Hovelaque, E., Janet, P., et Painlevé, P. *Lucien Poincaré (22 juillet 1862–9 mars*

- 1920) *par ses amis*. Arras : Imprimerie H. Lanthier, 1921.
- Giesel, F. Ueber die Ablenkbarkeit der Becquerelstrahlen im magnetischen Felde. *Annalen der Physik und Chemie* 69 (1899) : 834–836.
- Gifford, J.W. Are Röntgen rays polarised? *Nature* 54 (1896) : 172.
- Gilain, C. *La théorie géométrique des équations différentielles de Poincaré*. Thèse, université de Paris 1, 1977.
- Gillispie, C.C. et Holmes, F.L., dirs. *Dictionary of Scientific Biography*. 18 vols. New York : Charles Scribner's Sons, 1970–1990.
- Gispert, H. *La France mathématique : la Société mathématique de France (1870–1914)*. Publié par H. Gispert. Paris : SFHST, 1991.
- , The German and French editions of the Klein-Molk Encyclopedia : contrasted images. In *Changing Images in Mathematics : From the French Revolution to the New Millennium*. Publié par U. Bottazzini et A. Dahan Dalmedico, 93–112. London : Routledge, 2001.
- , dir. *Par la science, pour la patrie ; L'Association française pour l'avancement des sciences (1872–1914) : un projet politique pour une société savante*. Rennes : Presses universitaires de Rennes, 2002.
- Goetz, F. Charles-Edouard Guillaume, physicien (1861–1938). In *Biographies neuchâtelaises*. 4 vols. Publié par M. Schlup, III : 167–174. Hauterive : Éditions G. Attinger, 2001.
- Goisot, G. Étude sur le flux de l'énergie mécanique, par Vito Volterra. *Éclairage électrique* 25 (1900) : 244–248.
- Goldberg, S. et Stuewer, R.H., dirs. *The Michelson Era in American Science 1870–1930*. New York : American Institute of Physics, 1988.
- Goodstein, J.R. The Italian mathematicians of relativity. *Centaurus* 26 (1983) : 241–261.
- , The rise and fall of Vito Volterra's world. *Journal of the History of Ideas* 45 (1984) : 607–617.
- Goursat, E. *Le problème de Bäcklund*. Paris : Gauthier-Villars, 1925.
- Gouy, G. Sur la polarisation de la lumière diffractée. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 96 (1883) : 697.
- , Sur la diffraction de la lumière dans l'ombre d'un écran à bord rectiligne. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 98 (1884a) : 1573.
- , Sur la diffraction de la lumière par les surfaces dépolies du verre ou du métal. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 98 (1884b) : 978.
- , Sur la diffraction de la lumière par un écran à bord rectiligne. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 100 (1885) : 977.
- , Sur la propagation anormale des ondes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 111 (1890a) : 33–35.
- , Sur une propriété nouvelle des ondes lumineuses. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 110 (1890b) : 1251–1253.
- Gray, J. Poincaré and electromagnetic theory. In *Henri Poincaré : Science et philosophie*. Publié par J.-L. Greffe, G. Heinzmann, et K. Lorenz, 193–208. Berlin : Akademie Verlag, 1996.
- , *Linear Differential Equations and Group Theory from Riemann to Poincaré*. Boston :

- Birkhäuser, 2<sup>de</sup> édition, 2000.
- Mathematics and natural science in the nineteenth-century : the classical approaches of Poincaré, Volterra and Hadamard. In *Changing Images in Mathematics : From the French Revolution to the New Millennium*. Publié par U. Bottazzini et A. Dahan Dalmedico, 113–136. London : Routledge, 2001.
  - Gray, J. et Walter, S. Introduction. In Poincaré (1997), 1–25, 1997.
  - Grelon, A. Formation et développement des élites techniques et commerciales en France, sous la Troisième République. In *Frankreich und Deutschland : Forschung, Technologie und industrielle Entwicklung im 19. und 20. Jahrhundert*. Publié par Y. Cohen et K. Manfrass, 39–52. Munich : Beck, 1990.
  - Guillaume, C.-E. *Les rayons X et la photographie à travers les corps*. Paris : Gauthier-Villars, 1896a.
  - Sur l'émission des rayons X. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 123 (1896b) : 450–451.
  - The extreme infra-red radiations. *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution* (1898) : 161–185.
  - André Broca. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 36 (1925) : 354–356.
  - Guillaume, C.-E. et Poincaré, L., dirs. *Rapports présentés au congrès international de physique*. 4 vols. Paris : Gauthier-Villars, 1900–1901.
  - Gutton, C. Comparaison des vitesses de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air et le long des fils. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 128 (1899a) : 1508–1511.
  - *Recherches expérimentales sur le passage des ondes électriques d'un conducteur à un autre*. Thèse, université de Paris, 1899b.
  - Sur la constante diélectrique et la dispersion de la glace pour les radiations électromagnétiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 130 (1900a) : 1119–1121.
  - Vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le bitume et le long de fils noyés dans le bitume. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 130 (1900b) : 894–897.
  - Sur la propagation des oscillations hertziennes dans l'eau. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 132 (1901) : 543–545.
  - Action des champs magnétiques sur des sources lumineuses peu intenses. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904a) : 268–270.
  - Sur l'effet magnétique des courants de convection. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904b) : 352–353.
  - Expériences photographiques sur l'action des rayons N sur une étincelle oscillante. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 142 (1906) : 145–149.
  - Comparaison des vitesses de propagation de la lumière et des ondes électromagnétiques le long des fils. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 152 (1911a) : 685–688.
  - Expériences sur la vitesse de la lumière dans les milieux réfringents. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 152 (1911b) : 1089–1091.
  - *Génératrices de courants et moteurs électriques : introduction à l'étude de l'électro-*



- technique appliquée*. Paris : Dunod et Pinat, 1911c.
- . Expériences sur la vitesse de la lumière dans les milieux réfringents. *Journal de Physique et Le Radium* 2 (1912) : 196.
- Haas-Lorentz, G. L. de, dir. *H.A. Lorentz : Impressions of His Life and Work*. Amsterdam : North-Holland, 1957.
- Hadamard, J. Les équations différentielles. In *L'Outillage mentale ; pensée ; langage ; mathématique*. Publié par A. Rey, A. Meillet, et P. Montel. Encyclopédie Française I : 76, 1–8. Paris : Larousse, 1937.
- Hagenbach-Bischoff, E. et Zehnder, L. Die Natur der Funken bei den Hertz'schen electrischen Schwingungen. *Annalen der Physik und Chemie* 43 (1891) : 621–648.
- Hayward, R.B. Fourier's series. *Nature* 59 (1899) : 271.
- Helmholtz, H. von. Zur Theorie der anomalen Dispersion. *Monatsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin* (1874).
- . Zur Theorie der anomalen Dispersion. *Annalen der Physik und Chemie* 154 (1875) : 582–596.
- . *Wissenschaftliche Abhandlungen*. 3 vols. Leipzig : J. A. Barth, 1882–1895.
- . Ueber die physikalische Bedeutung des Princips der kleinsten Wirkung. *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 100 (1886) : 137–166, 213–222.
- . Folgerungen aus Maxwell'scher Theorie über die Bewegung des reinen Aethers. *Annalen der Physik und Chemie* 53 (1893) : 135–143.
- Hermite, Ch. *Œuvres de Charles Hermite*. 4 vols. Publié par E. Picard. Paris : Gauthier-Villars, 1905.
- Hertz, H. Über einen Einfluß des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung. *Annalen der Physik und Chemie* 31 (1887a) : 983.
- . Über sehr schnelle elektrische Schwingungen. *Annalen der Physik und Chemie* 31 (1887b) : 421.
- . Recherches sur les ondulations électriques. *Archives des sciences physiques et naturelles* 21 (1889a) : 281–308.
- . Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität. *Tageblatt der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte* 62 (1889b) : 144–149.
- . Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper. *Annalen der Physik und Chemie* 41 (1890a) : 369–398.
- . Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper. *Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften und der Georg-August-Universität zu Göttingen* (1890b) : 106–149.
- . Sur la propagation des perturbations électriques dans les fils conducteurs. *Lumière électrique* 41 (1891a) : 251–252.
- . Sur les équations fondamentales de l'électrodynamique pour les corps en mouvement. *Acta mathematica* 14 (1891b) : 349–375.
- . *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft*. Leipzig : J.A. Barth, 1892.
- . *Gesammelte Werke*. 3 vols. Publié par P. Lenard. Leipzig : J. A. Barth, 1892–1895.
- . *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt*. Leipzig : J. A. Barth, 1894.

- . *Erinnerungen, Briefe, Tagebücher*. Publié par J. Hertz. Leipzig : Akademische Verlagsgesellschaft, 1927.
- . *Memoirs, Letters, Diaries*. Publié par M. Hertz et C. Susskind. San Francisco : San Francisco Press, 2<sup>de</sup> édition, 1977.
- Hewitt, E. et Hewitt, R.E. The Gibbs-Wilbraham phenomenon : an episode in Fourier analysis. *Archive for History of Exact Sciences* 21 (1979) : 129–160.
- Himstedt, F. Quantitative Versuche über den Rowlandeffekt. *Annalen der Physik* 13 (1904) : 100–173.
- Hon, G. The case of Kaufmann's experiment and its varied reception. In *Scientific Practice : Theories and Stories of Doing Physics*. Publié par J.Z. Buchwald, 170–223. Chicago : University of Chicago Press, 1995.
- Hong, S. *Wireless : From Marconi's Black Box to the Audion*. Cambridge, MA : MIT Press, 2001.
- Hunt, B.J. *The Maxwellians*. Ithaca : Cornell University Press, 1991.
- Hurwic, A. *Pierre Curie*. Paris : Flammarion, 1995.
- Indorato, L. et Masotto, G. Poincaré's role in the Crémieu-Pender controversy over electric convection. *Annals of Science* 46 (1989) : 117–163.
- Jago, L. *The Northern Lights : How One Man Sacrificed Love, Happiness and Sanity to Unlock the Secrets of Space*. New York : Knopf, 2001.
- Janssen, M. *A Comparison between Lorentz's Ether Theory and Special Relativity in the Light of the Experiments of Trouton and Noble*. Thèse, University of Pittsburgh, 1995.
- Jaumann, G. Déviation électrostatique des rayons cathodiques ; réponse à M. H. Poincaré. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896) : 988–990.
- Jones, D.E. On the measurement of stationary Hertzian oscillations along wires, and the damping of electric waves. *Report-British Association* 61 (1891) : 561–562.
- Joubert, J. Les expériences de Hertz. *Séances de la société française de physique* (1889) : 96–97.
- Jungnickel, C. et McCormach, R. *Intellectual Mastery of Nature : Theoretical Physics from Ohm to Einstein*. 2 vols. Chicago : University of Chicago Press, 1986.
- Kargon, R. et Achinstein, P., dirs. *Kelvin's Baltimore Lectures and Modern Theoretical Physics : Historical and Philosophical Perspectives*. Cambridge, MA : MIT Press, 1987.
- Katzir, S. The emergence of the principle of symmetry in physics. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 35 (2004) : 35–65.
- Kaufmann, W. Die magnetische und elektrische Ablenkbarkeit der Becquerelstrahlen und die scheinbare Masse der Electronen. *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse* (1901) : 143–155.
- . Ueber die electromagnetische Masse des Elektrons. *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse* (1902) : 291–296.
- . Die elektromagnetische Masse des Elektrons. *Physikalische Zeitschrift* 4 (1903) : 54–57.
- . Über die Konstitution des Elektrons. *Sitzungsberichte der königlich preußischen*



- Akademie der Wissenschaften* (1905) : 949–956.
- Kevles, D.J. *The Physicists : The History of a Scientific Community in Modern America*. New York : Knopf, 1977.
- Kirchhoff, G.R. *Vorlesungen über mathematische Physik*. 4 vols. Publié par K. Hensel et M. Planck. Leipzig : Teubner, 1883–1894.
- Klein, F. et Fricke, R. *Vorlesungen über die Theorie der automorphen Funktionen*. 3 vols. Leipzig : Teubner, 1897–1912.
- Klein, M.J. *Paul Ehrenfest : The Making of a Theoretical Physicist*. Dordrecht : North-Holland, 1970.
- . The scientific style of Josiah Willard Gibbs. In *Springs of Scientific Creativity : Essays on Founders of Modern Science*. Publié par R. Aris, H.T. Davis, et R.H. Steuwer, 142–162. Minneapolis : University of Minnesota Press, 1983.
- Klotz, I.M. The N-ray affair. *Scientific American* 242 (1980) : 168–175.
- Knott, C.G. *Life and Scientific Work of Peter Guthrie Tait*. Cambridge : Cambridge University Press, 1911.
- Korn, A. *Eine Theorie der Gravitation und der electrischen Erscheinungen auf Grundlage der Hydrodynamik*. 2 vols. Berlin : Ferd. Dümmler, 2<sup>de</sup> édition, 1896–1898.
- . *Lehrbuch der Potentialtheorie*. 2 vols. Berlin : Ferd. Dümmler, 1899.
- . Sur les vibrations universelles de la matière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902) : 31–33.
- . Sur les fonctions universelles dans l'espace. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 136 (1903a) : 30–33.
- . Ueber eine mögliche Erweiterung des Gravitationsgesetzes. *Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften* 33 (1903b).
- . L'état hélicoïdal de la matière électrique, hypothèses nouvelles pour expliquer mécaniquement les phénomènes électromagnétiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 152 (1911a) : 306–309.
- . Weiterführung eines mechanischen Bildes der elektromagnetischen Erscheinungen. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 13 (1911b) : 249–256.
- . Henri Poincaré (1854–1912). *Sitzungsberichte der Berliner mathematischen Gesellschaft* 12 (1912) : 3–13.
- Korn, T. et Korn, E.P. *Trailblazer to Television : The Story of Arthur Korn*. New York : Charles Scribner's Sons, 1950.
- Kox, A.J. The discovery of the electron II : The Zeeman effect. *European Journal of Physics* 18 (1997) : 139–144.
- Krips, H. Atomism, Poincaré and Planck. *Studies in History and Philosophy of Science* 17 (1986) : 43–63.
- Kuhn, T.S. *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894–1912*. Chicago : University of Chicago Press, 1978.
- Kutzbach, G. *The Thermal Theory of Cyclones : A History of Meteorological Thought in the 19th Century*. Boston : American Meteorological Society, 1979.
- La Rive, L. de. Remarque à la note de M. Poincaré relative à la théorie des expériences de M. Hertz. *Archives des sciences physiques et naturelles* 24 (1890a) : 288–290.

- Sur la théorie des interférences de l'onde électrique propagée dans un fil conducteur et du résonateur. *Archives des sciences physiques et naturelles* 23 (1890b) : 391–401.
- Application de la théorie des lignes de force à la démonstration d'un théorème d'électrostatique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892) : 740–742.
- Henri Poincaré : la carrière scientifique. *Archives des sciences physiques et naturelles* 38 (1914a) : 159–163.
- Henri Poincaré le physicien et le philosophe. *Archives des sciences physiques et naturelles* 38 (1914b) : 189–201.
- Notice sur la vie et les travaux d'Édouard Sarasin. *Archives des sciences physiques et naturelles* (1917) : 336.
- Lagemann, R.T. New light on old rays : N-rays. *American Journal of Physics* 45 (1977) : 281–284.
- Lagout, E. *Takitechnie, mathématiques élémentaires ou des arts, assimilées par la takimétrie*. Paris : Librairies scolaires, 1881.
- Langevin, P. Ionisation des gaz. *Annales de chimie et de physique* 28 (1903a) : 289–384.
- Recombinaison et mobilité des ions gazeux. *Annales de chimie et de physique* 28 (1903b) : 433–530.
- La physique des électrons. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 16 (1905) : 257–276.
- L'œuvre d'Henri Poincaré : le physicien. *Revue de métaphysique et de morale* 21 (1913) : 675–718.
- Langevin, P. et Broglie, M. de, dirs. *La théorie du rayonnement et les quanta, rapports et discussions de la réunion tenue à Bruxelles, du 30 octobre au 3 novembre 1911, sous les auspices de M. E. Solvay*. Paris : Gauthier-Villars, 1912.
- Larmor, J. *Æther and Matter*. Cambridge : Cambridge University Press, 1900.
- On the ascertained absence of effects of motion through the æther, in relation to the constitution of matter, and on the Fitzgerald-Lorentz hypothesis. *Philosophical Magazine* 7 (1904) : 621–625.
- Le Bon, G. *Les lois psychologiques de l'évolution des peuples*. Paris : Alcan, 1894.
- *Psychologie des foules*. Paris : Alcan, 1895.
- La lumière noire. *Revue scientifique* (1896a) : 155–156.
- La lumière noire. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896b) : 188–190.
- Nature et propriétés de la lumière noire. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896c) : 386–390.
- Nature des diverses espèces de radiations produites par les corps sous l'influence de la lumière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 124 (1897a) : 755–758.
- Sur les propriétés électriques des radiations émises par les corps sous l'influence de la lumière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 124 (1897b) : 892–895.
- *Psychologie du socialisme*. Paris : Alcan, 1898.
- Sur la transparence des corps opaques pour les radiations lumineuses de grande

- longueur d'onde. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 128 (1899a) : 297–300.
- Sur les propriétés optiques de la luminescence résiduelle invisible. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 128 (1899b) : 174–176.
- L'uranium, le radium et les émissions métalliques. *Revue scientifique* 13 (1900a) : 548–552.
- Sur la propriété de certains corps de perdre leur phosphorescence par la chaleur et de la reprendre par le refroidissement. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 130 (1900b) : 891–894.
- Action dissociante des diverses régions du spectre sur la matière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 135 (1902a) : 32–35.
- La dissociation de la matière. *Revue scientifique* 18 (1902b) : 577–590, 614–625, 647–657.
- La lumière noire et les phénomènes actino-électriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 135 (1902c) : 35–36.
- *Psychologie de l'éducation*. Paris : Flammarion, 1902d.
- L'énergie intra-atomique. *Revue scientifique* 20 (1903) : 481–499, 513–519, 551–559.
- *L'évolution de la matière*. Paris : Flammarion, 1905.
- La dissociation de la matière sous l'influence de la lumière et de la chaleur. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 143 (1906) : 647–649.
- *The Evolution of Matter*. New York : Charles Scribner's Sons, 1907.
- Brelan d'académiciens : Henri Poincaré. *Opinion* (1908) : 13–14.
- *Les opinions et les croyances : genèse, évolution*. Paris : Flammarion, 1911.
- Le Chatelier, H. J. Willard Gibbs, sa vie et son œuvre. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 14 (1903) : 644–688.
- Lebon, E. *Henri Poincaré : Biographie, bibliographie analytique des écrits*. Paris : Gauthier-Villars, 1909.
- Lecher, E. Eine Studie über unipolare Induction. *Annalen der Physik und Chemie* 54 (1895) : 276–304.
- Ueber einen experimentellen und theoretischen Trugschluss in der Elektrizitätslehre. *Annalen der Physik und Chemie* 69 (1899) : 781–787.
- Legras, B. *Les professeurs de la faculté de médecine de Nancy, 1872–2005 : ceux qui nous ont quittés*. Nancy : Bernard Legras, 2006.
- Lehmann, O. Les cristaux liquides. *Journal de physique théorique et appliquée* 8 (1909) : 713–735.
- Leicht, H. *Wilhelm Conrad Röntgen*. Munich : Ehrenwirth, 1994.
- Lemartin de Raspide, S. *Une continuité lignagère : les Becquerel au XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle*. Thèse, université de Paris 4, 2000.
- *Les Becquerel ou le devoir de transmettre*. Paris : Harmatton, 2002.
- Letté, M. *Henry Le Chatelier (1850–1936) : ou la science appliquée à l'industrie*. Rennes : Presses universitaires de Rennes, 2004.
- Levi-Civita, T. Sulla riducibilità delle equazioni elettrodinamiche di Helmholtz alla forma Hertziana. *Nuovo cimento* 6 (1897) : 93–108.
- Sur l'instabilité de certaines substitutions périodiques. *Comptes rendus hebdoma-*

- daires de l'Académie des sciences* 131 (1900) : 170–173.
- Influenza di uno schermo conduttore sul campo elettro-magnetico di una corrente alternativa parallela allo schermo. *Nuovo cimento* 3 (1902a) : 442–455.
  - Sur le champ électromagnétique engendré par la translation uniforme d'une charge électrique parallèlement à un plan conducteur infini. *Annales de la faculté des sciences de Toulouse* 4 (1902b) : 5–44.
  - *Aspetti de meccanica e di meccanica applicata nella corrispondenza di Tullio Levi-Civita (1873–1941)*. Publié par P. Nastasi, R. Tazzioli, S. Caparrini, et U. Lucia. Milan : università Bocconi, 2003.
- Liénard, A. La théorie de Lorentz et celle de Larmor. *Éclairage électrique* 16 (1898) : 320–334, 360–365.
- Sur l'application des équations de Lagrange aux phénomènes électrodynamiques et électromagnétiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902) : 163–165.
- Liesse, A. Richard Bloch, 1852–1934. *Journal des débats* 146 (1934) : 2.
- Livingston, D.M. *The Master of Light : A Biography of Albert A. Michelson*. New York : Charles Scribner's, 1973.
- Lodge, O. et Howard, J.L. On electric radiation and its concentration by lenses. *Philosophical Magazine* 28 (1889) : 48–65.
- Lorentz, H.A. La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants. *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles* 25 (1892) : 363–552.
- *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*. Leiden : Brill, 1895.
  - Simplified theory of electrical and optical phenomena in moving systems. *Proceedings of the Section of Sciences, Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam* 1 (1899a) : 427–442.
  - Zur Theorie des Zeemaneffektes. *Physikalische Zeitschrift* 1 (1899b) : 39–41.
  - Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity less than that of light. *Proceedings of the Section of Sciences, Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam* 6 (1904a) : 809–831.
  - Remarques au sujet d'induction unipolaire. *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles* 9 (1904b) : 380.
  - *Ergebnisse und Probleme der Elektronentheorie*. Berlin : Springer, 1905a.
  - La thermodynamique et les théories cinétiques. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1905b) : 35–63.
  - Deux mémoires de Henri Poincaré sur la physique mathématique. *Acta mathematica* 38 (1921) : 293–308.
  - *Collected Papers*. 9 vols. Publié par P. Zeeman, P. Ehrenfest, et A.D. Fokker. La Haye : Martinus Nijhoff, 1934–1939.
- Lorey, W. *Das Studium der Mathematik an den deutschen Universitäten*. Leipzig/Berlin : Teubner, 1916.
- Love, A.E.H. Fourier's series. *Nature* 58 (1898a) : 569–570.
- Fourier's series. *Nature* 59 (1898b) : 200–201.

- Fourier's series. *Nature* 60 (1899) : 100–101.
- Lummer, O. Beitrag zur Klärung der neuesten Versuche von R. Blondlot über die n-Strahlen. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 5 (1904) : 416–422.
- MacCullagh, J. An essay towards a dynamical theory of crystalline reflexion and refraction. *Transactions of the Royal Irish Academy* 21 (1848) : 17.
- Macdonald, H.M. The bending of electric waves round a conducting obstacle. *Proceedings of the Royal Society of London* 71 (1903) : 251–258.
- Macé de Lépinay, J. Sur la production de rayons N par les vibrations sonores. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904) : 77–79.
- Magnien, M. André Eugène Blondel 1863–1938 : un savant, un fondateur de la photométrie et de l'électrotechnique. *Revue générale de l'électricité* 7 (1989) : 1–11.
- Marage, P. et Wallenborn, G., dirs. *Les conseils Solvay et les débuts de la physique moderne*. Bruxelles : université libre de Bruxelles, 1995.
- March, H.W. Darstellung einer willkürlich Funktion auf der Kugel durch ein Doppelintegral mit Kugelfunktionen. *Jahresbericht der deutschen Mathematiker-Vereinigung* 20 (1911a) : 353–363.
- *Über die Ausbreitung der Wellen der drahtlosen Telegraphie auf der Erdkugel*. Thèse, Universität München, 1911b.
- *Über die Ausbreitung der Wellen der drahtlosen Telegraphie auf der Erdkugel*. *Annalen der Physik* 37 (1912) : 29–50.
- Marpeau, B. *Gustave Le Bon : parcours d'un intellectuel, 1841–1931*. Paris : CNRS Éditions, 2000.
- Marx, E.A. Röntgenstrahlen. In *Handbuch der Radiologie*. 6 vols. Publié par E.A. Marx, 5 : 281. Leipzig : Akademische Verlagsgesellschaft, 1913–1925.
- Mascart, E. Sur les rayons N. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 142 (1906) : 122.
- Maurain, C. et Pacaud, A. *La faculté des sciences de l'université de Paris de 1906 à 1940*. Paris : Presses universitaires de France, 1940.
- Mawhin, J. Poincaré et les équations aux dérivées partielles. In *L'héritage scientifique de Poincaré*. Publié par E. Charpentier, E. Ghys, et A. Lesne, 278–301. Paris : Belin, 2006.
- Maxwell, J.C. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. 2 vols. Oxford : Oxford University Press, 1873.
- *A Treatise on Electricity and Magnetism*. 2 vols. Publié par J.J. Thomson. Oxford : Oxford University Press, 3<sup>e</sup> édition, 1891.
- McCormmach, R. Henri Poincaré and the quantum theory. *Isis* 58 (1967) : 37–55.
- Einstein, Lorentz, and the electron theory. *Historical Studies in the Physical Sciences* 2 (1970a) : 41–87.
- H.A. Lorentz and the electromagnetic view of nature. *Isis* 61 (1970b) : 459–497.
- Medicus, H.A. The friendship among three singular men : Einstein and his Swiss friends Besso and Zangger. *Isis* 85 (1994) : 456–478.
- Meijer, B., Westrin, T., Berg, R.G., Söderberg, V., et Fahlstedt, E., dirs. *Nordisk Familjebok : Konversationslexikon och Realencyklopedi*. 38 vols. Stockholm : Nordisk

- familjeboks förlags aktiebolag, 1904–1926.
- Metz, G. de. Ueber die temporäre Doppelbrechung des Lichtes in rotirenden Flüssigkeiten. *Annalen der Physik und Chemie* 35 (1888) : 497–507.
- La photographie à l'intérieur du tube de Crookes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896a) : 880–881.
- La photographie à l'intérieur du tube de Crookes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 123 (1896b) : 354–355.
- Capacité électrique du corps humain. In Guillaume et Poincaré (1900–1901), IV : 119–127, 1901a.
- Capacité électrique du corps humain. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 133 (1901b) : 333–335.
- Double réfraction accidentelle des liquides mécaniquement déformés. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902) : 1353–1356.
- Rigidité des liquides. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 136 (1903) : 604–606.
- Michelson, A.A. Fourier's series. *Nature* 58 (1898) : 544–545.
- Michelson, A.A. et Morley, E.W. On the relative motion of the earth and the luminiferous æther. *Philosophical Magazine* 24 (1887) : 449–463.
- Michelson, A.A. et Stratton, S.W. A new harmonic analyser. *Philosophical Magazine* 45 (1898) : 85–91.
- Miller, A.I. A study of Henri Poincaré's 'Sur la dynamique de l'électron'. *Archive for History of Exact Sciences* 10 (1973) : 207–328.
- On some other approaches to electrodynamics in 1905. In *Some Strangeness in the Proportion*. Publié par H. Woolf, 66–91. Reading, MA : Addison-Wesley, 1980.
- *Albert Einstein's Special Theory of Relativity : Emergence (1905) and Early Interpretation*. Reading, MA : Addison-Wesley, 1981.
- *Frontiers of Physics, 1900–1911*. Boston : Birkhäuser, 1986.
- Miller, J.D. Rowland and the nature of electric currents. *Isis* 63 (1972) : 5–27.
- Minkowski, H. Die Grundgleichungen für die electromagnetischen Vorgänge in bewegten Körpern. *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse* (1908) : 53–111.
- Monod-Broca, P. *Branly au temps des ondes et des limailles*. Paris : Belin, 1990.
- Mouton, L. Phénomènes d'oscillation électrique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 82 (1876a) : 1387.
- Sur la différence de potentiel que présentent, après la rupture du courant inducteur, les extrémités isolées d'une bobine ouverte d'induction. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 83 (1876b) : 142–145.
- Sur les phénomènes d'induction. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 82 (1876c) : 84.
- Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique. *Annales scientifiques de l'École normale supérieure* 6 (1877) : 193–264.
- Nabonnand, Ph. The Poincaré-Mittag-Leffler relationship. *Mathematical Intelligencer* 21 (1999) : 58–64.
- Nastasi, P. et Tazzioli, R. Toward a scientific and personal biography of Tullio Levi-Civita



- (1873–1941). *Historia Mathematica* 32 (2005) : 203–236.
- Navarro, L. et Pérez, E. Paul Ehrenfest on the necessity of quanta (1911) : discontinuity, quantization, corpuscularity, and adiabatic invariance. *Archive for History of Exact Sciences* 58 (2004) : 97–141.
- Neumann, F. Theoretische Untersuchungen der Gesetze, nach welchem das Licht an der Grenze zweier vollkommen durchsichtigen Medien reflectirt und gebrochen wird. *Abhandlungen der Preussischen Akademie der Wissenschaften* 1 (1881) : 1–160.
- Nicolaïève, W. de. Sur diverses expériences destinées à confirmer l'hypothèse d'Amperè, relative à la direction de l'action élémentaire électromagnétique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 129 (1899a) : 475–477.
- . Sur le champ magnétique à l'intérieur d'un cylindre creux parcouru par un courant. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 129 (1899b) : 202–203.
- Nobel Foundation, dir. *Nobel Lectures : Physics, 1901–1921*. Singapore : World Scientific, 1998.
- Nodon, A. Recherches sur les phénomènes actino-électriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902) : 1491.
- North, J.D. *The Measure of the Universe : A History of Modern Cosmology*. Oxford : Oxford University Press, 1965.
- Nye, M.-J. Gustave Le Bon's black light : A study in physics and philosophy in France at the turn of the century. *Historical Studies in the Physical Sciences* 4 (1974) : 163–195.
- . *Science in the Provinces*. Berkeley : University of California Press, 1986.
- Nye, R.A. *An Intellectual Portrait of Gustave Le Bon : A Study of the Development and Impact of a Social Scientist in his Historical Setting*. Thèse, University of Wisconsin, 1969.
- Oliveira, M.P.P. de. *Élie Mascart et l'optique des corps en mouvement*. Thèse, université de Paris 7, 1992.
- Orr, W.M. On the forced precession and nutations of a rotating ellipsoidal shell containing liquid. *Philosophical Magazine* 46 (1898) : 545–553.
- Pais, A. *Inward Bound : Of Matter and Forces in the Physical World*. Oxford : Oxford University Press, 1986.
- Panza, M. L'intuition et l'évidence ; la philosophie kantienne et les géométries non euclidiennes : relecture d'une discussion. In *Les savants et l'épistémologie vers la fin du XIXe siècle*. Publié par J.-C. Pont et M. Panza, 39–87. Paris : Blanchard, 1995.
- Paoloni, G., dir. *Vito Volterra e il suo tempo (1860–1940) : Catalogo della mostra storico-documentaria*. Rome : Accademia dei Lincei, 1990.
- Paty, M. *Einstein philosophe : la physique comme pratique philosophique*. Paris : Presses universitaires de France, 1993.
- Paul, H.W. *From Knowledge to Power : The Rise of the Science Empire in France, 1860–1939*. Cambridge : Cambridge University Press, 1985.
- Pellat, H. Des forces qui agissent sur le flux cathodique placé dans un champ magnétique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902a) : 697–700.
- . Étude de la magnétofriction du faisceau anodique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 135 (1902b) : 1321–1324.
- . Tubes de force d'un champ magnétique rendus visibles par les rayons cathodiques.

- Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 134 (1902c) : 352–355.
- Remarque au sujet d'une Note de M. P. Villard sur les rayons magnétocathodiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904) : 1593–1594.
- Pender, H. On the magnetic effect of electrical convection. *Philosophical Magazine* 2 (1901a) : 179–208.
- On the magnetic effect of electrical convection. *Physical Review* 13 (1901b) : 203–233.
- On the magnetic effect of electrical convection II. *Physical Review* 15 (1902) : 291–305.
- Pender, H. et Crémieu, V. Recherches contradictoires sur l'effet magnétique de la convection électrique. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1903a) : 136–162.
- Recherches contradictoires sur l'effet magnétique de la convection électrique. *Journal de physique théorique et appliquée* (1903b) : 641–666.
- Pérard, A. Nécrologie : Vito Volterra (1860–1940). *Cahiers de Physique* 3 (1941) : 51–58.
- Perot, A. *Sur la mesure du volume spécifique des vapeurs saturées et détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur*. Thèse, université de Paris, 1887.
- Mesure de la constante diélectrique par les oscillations électriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892a) : 1528–1531.
- Sur l'affaiblissement des oscillations électro-magnétiques avec leur propagation et leur amortissement. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 115 (1892b) : 1284–1286.
- Sur les oscillations de Hertz. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892c) : 165–168.
- Sur le pouvoir diélectrique de la glace. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 119 (1894) : 601.
- *Notice sur les titres et les travaux*. Paris : Gauthier-Villars, 1919.
- Pestre, D. *Physique et physiciens en France 1918–1940*. Paris : Éditions des archives contemporaines, 2<sup>de</sup> édition, 1992.
- Picard, E. Sur une équation aux dérivées partielles de la théorie de la propagation de l'électricité. *Bulletin de la Société Mathématique de France* 22 (1894) : 2–8.
- La mécanique classique et ses approximations successives. *Scientia (Rivista di Scienza)* 1 (1907) : 4–15.
- *Leçons sur quelques types simples d'équations aux dérivées partielles avec des applications à la physique mathématique*. Paris : Gauthier-Villars, 1927.
- Piéron, H. Grandeur et décadence des rayons N. *Année psychologique* 13 (1907) : 143–169.
- Poggendorff, J.C. *J.C. Poggendorffs biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften*. 6 vols. Leipzig : J.A. Barth, 1858–1931.
- Poincaré, H. Note sur les principes de la mécanique dans Descartes et dans Leibnitz. In *Leibnitz : La Monadologie*. Publié par E. Boutroux, 225–231. Paris : Delagrave, 1881.
- Sur l'équilibre d'une masse fluide animée d'un mouvement de rotation. *Acta mathematica* 7 (1885) : 259–380.



- Sur le problème de la distribution électrique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 104 (1887) : 44–46.
- Sur les tentatives d'explication mécanique des principes de la thermodynamique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 108 (1889) : 550–553.
- *Leçons sur la théorie mathématique de la lumière*. 2 vols. Publié par J. Blondin, M. Lamotte, et D. Hurmuzescu. Paris : Georges Carré, 1889–1892.
- Contribution à la théorie des expériences de M. Hertz. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 111 (1890a) : 322–326.
- Contribution à la théorie des expériences de M. Hertz. *Archives des sciences physiques et naturelles* 24 (1890b) : 285–288.
- Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique. *Acta mathematica* 13 (1890c) : 1–270.
- Sur les équations aux dérivées partielles de la physique mathématique. *American Journal of Mathematics* 12 (1890d) : 211–294.
- *Électricité et optique*. 2 vols. Publié par J. Blondin et B. Brunhes. Paris : Georges Carré, 1890–1891.
- Sur la réflexion métallique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 112 (1891b) : 456–459.
- Sur la résonance multiple des oscillations hertziennes. *Archives des sciences physiques et naturelles* 25 (1891c) : 609–627.
- Sur la théorie des oscillations hertziennes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 113 (1891d) : 515–519.
- Sur le calcul de la période des excitateurs hertziens. *Archives des sciences physiques et naturelles* 25 (1891e) : 5–25.
- Sur l'expérience de M. Wiener. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 112 (1891f) : 325–329.
- *Elektricität und Optik*. 2 vols. Berlin : Springer, 1891–1892.
- Poincaré's 'Thermodynamics'. *Nature* 45 (1892b) : 414–415.
- Poincaré's 'Thermodynamics'. *Nature* 45 (1892c) : 485.
- Rapport sur un Mémoire présenté par M. Blondlot et relatif à la propagation des ondes hertziennes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892d) : 645–648.
- Sur la propagation des oscillations électriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892e) : 1229–1233.
- Sur la propagation des oscillations hertziennes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892f) : 1046–1048.
- Sur la théorie de l'élasticité. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 114 (1892g) : 385–388.
- *Théorie de l'élasticité*. Publié par E. Borel et J. Drach. Paris : Georges Carré, 1892h.
- *Thermodynamique*. Publié par J. Blondin. Paris : Georges Carré, 1892i.
- Sur la polarisation par diffraction. *Acta mathematica* 16 (1892–1893) : 297–339.
- *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*. 3 vols. Paris : Gauthier-Villars, 1892–99.
- Sur la propagation de l'électricité. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie*

- des sciences* 117 (1893a) : 1027–1032.
- Sur une objection à la théorie cinétique des gaz. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 116 (1893b) : 1017–1021.
  - *Théorie des tourbillons*. Publié par M. Lamotte. Paris : Georges Carré, 1893c.
  - *Les oscillations électriques*. Publié par C. Maurain. Paris : Carré et Naud, 1894a.
  - Sur la théorie cinétique des gaz. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 5 (1894b) : 513–521.
  - Sur les équations de la physique mathématique. *Rendiconti del circolo matematico di Palermo* 8 (1894c) : 57–156.
  - *Capillarité*. Publié par J. Blondin. Paris : Georges Carré, 1895a.
  - Sur la méthode de Neumann et le problème de Dirichlet. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 120 (1895b) : 347–352.
  - *Théorie analytique de la propagation de la chaleur*. Publié par L. Rouyer et R. Baire. Paris : Carré et Naud, 1895c.
  - *Calcul des probabilités*. Publié par A. Quiquet. Paris : Georges Carré, 1896a.
  - La méthode de Neumann et le problème de Dirichlet. *Acta mathematica* 20 (1896b) : 59–142.
  - Les rayons cathodiques et les rayons Röntgen. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 7 (1896c) : 52–59.
  - Les rayons cathodiques et les rayons Röntgen. *Annuaire du bureau des longitudes* (1896d) : 1–35.
  - Observations au sujet de la communication de M. G. de Metz. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 123 (1896e) : 356.
  - Observations au sujet de la communication de M. G. Metz. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896f) : 881.
  - Observations au sujet de la communication de M. Jaumann. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896g) : 990.
  - Observations au sujet de la communication précédente. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896h) : 76.
  - Observations au sujet de la communication précédente. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896i) : 520.
  - Remarques sur une expérience de M. Birkeland. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 123 (1896j) : 530–533.
  - Sur l'équilibre d'un corps élastique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896k) : 154–159.
  - Sur la polarisation par diffraction. *Acta mathematica* 20 (1896–1897) : 313–355.
  - La théorie de Lorentz et les expériences de Zeeman. *Éclairage électrique* 11 (1897a) : 481–489.
  - Les idées de Hertz sur la mécanique. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 8 (1897b) : 734–743.
  - Les rayons cathodiques et les rayons Roentgen. *Revue scientifique* 7 (1897c) : 72–81.
  - Sur les rapports de l'analyse pure et de la physique mathématique. *Acta mathematica* 21 (1897d) : 331–341.
  - *Cinématique et mécanismes, potentiel et mécanique des fluides*. Publié par A. Guillet.

- Paris : Carré et Naud, 2<sup>de</sup> édition, 1899a.
- . Fourier's series (letter to A. A. Michelson). *Nature* 60 (1899b) : 52.
  - . La théorie de Lorentz et le phénomène de Zeeman. *Éclairage électrique* 19 (1899c) : 5–15.
  - . Le phénomène de Hall et la théorie de Lorentz. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 128 (1899d) : 339–341.
  - . L'énergie magnétique d'après Maxwell et d'après Hertz. *Éclairage électrique* 18 (1899e) : 361–367.
  - . *Théorie du potentiel newtonien*. Publié par E. Le Roy et G. Vincent. Paris : Carré et Naud, 1899f.
  - . La théorie de Lorentz et le principe de réaction. *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles* 5 (1900a) : 252–278.
  - . Les relations entre la physique expérimentale et la physique mathématique. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 11 (1900b) : 1163–1175.
  - . Présentation d'un Ouvrage de M. V. Bjerknes intitulé : Vorlesungen über hydrodynamische Fernkräfte. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 130 (1900c) : 25.
  - . Sur les rapports de la physique expérimentale et de la physique mathématique. In Guillaume et Poincaré (1900–1901), I : 1–29, 1900d.
  - . Sur l'induction unipolaire. *Éclairage électrique* 23 (1900e) : 41–53.
  - . *Électricité et optique : la lumière et les théories électrodynamiques*. Publié par J. Blondin et E. Néculcéa. Paris : Carré et Naud, 1901a.
  - . A propos des expériences de M. Crémieu. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 12 (1901b) : 994–1007.
  - . Sur les excitateurs et résonateurs hertziens (à propos d'un article de M. Johnson). *Éclairage électrique* 29 (1901c) : 305–307.
  - . A. Cornu. *Éclairage électrique* 31 (1902a) : 81–82.
  - . Discours prononcé aux obsèques de M. A. Cornu au nom de la Société française de physique. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1902b) : 186–188.
  - . *Figures d'équilibre d'une masse fluide*. Publié par L. Dreyfus. Paris : C. Naud, 1902c.
  - . *La Science et l'hypothèse*. Paris : Flammarion, 1902d.
  - . Les progrès de l'astronomie en 1901. *Bulletin de la Société astronomique de France* 16 (1902e) : 214–223.
  - . Lettre adressée à M. C.-M. Gariel. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1902f) : 32\*–33\*.
  - . Sur la télégraphie sans fil. *Annuaire du bureau des longitudes* (1902g) : A1–A34.
  - . Sur la télégraphie sans fil. *Revue scientifique* 17 (1902h) : 65–73.
  - . Sur les propriétés des anneaux à collecteurs. *Éclairage électrique* 30 (1902i) : 77–81, 301–310.
  - . Allocution prononcée dans la séance du 16 janvier 1903. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1903a) : 5–8.
  - . Sur la diffraction des ondes électriques : A propos d'un article de M. Macdonald. *Proceedings of the Royal Society of London* 72 (1903b) : 42–52.
  - . Étude de la propagation du courant en période variable sur une ligne munie de récep-

- teur. *Éclairage électrique* 40 (1904a) : 121–128, 161–167, 201–212, 241–250.
- Les rayons N existent-ils ? Opinion de M. Poincaré. *Revue scientifique* 2 (1904b) : 682.
- L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique. *Bulletin des sciences mathématiques* 28 (1904c) : 302–324.
- Rapport du prix Le Conte. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 139 (1904d) : 1120–1122.
- Théorie de la balance azimutale quadrifilaire. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904e) : 869–874.
- *Wissenschaft und Hypothese*. Leipzig : Teubner, 1904f.
- *La Valeur de la science*. Paris : Flammarion, 1905a.
- M. A. Potier. *Éclairage électrique* 43 (1905b) : 281–282.
- *Science and Hypothesis*. London : Walter Scott, 1905c.
- Sur la dynamique de l'électron. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 140 (1905d) : 1504–1508.
- Sur la généralisation d'un théorème élémentaire de géométrie. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 140 (1905e) : 113–117.
- *Leçons de mécanique céleste*. 3 vols. Paris : Gauthier-Villars, 1905–1910.
- *Der Wert der Wissenschaft*. Leipzig : Teubner, 1906a.
- Éloge de Curie, Bischoffsheim, Brouardel. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 143 (1906b) : 989–998.
- La fin de la matière. *Athenæum* 4086 (1906c) : 201–202.
- *La Science et l'hypothèse*. Paris : Flammarion, 2<sup>de</sup> édition, 1906d.
- Réflexions sur la théorie cinétique des gaz. *Journal de physique théorique et appliquée* 5 (1906e) : 369–403.
- Sur la dynamique de l'électron. *Rendiconti del circolo matematico di Palermo* 21 (1906f) : 129–176.
- *La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes ; La télégraphie sans fil*. Paris : Gauthier-Villars, 3<sup>e</sup> édition, 1907a.
- Sur le récepteur téléphonique. *Éclairage électrique* 50 (1907b) : 221–224, 257–262, 329–338, 365–372, 401–404.
- Sur quelques théorèmes généraux relatifs à l'électrotechnique. *Éclairage électrique* 50 (1907c) : 293–301.
- Compte rendu d'ensemble des travaux du IV<sup>e</sup> Congrès des Mathématiciens tenu à Rome en 1908. *Le Temps* 48, 21.04.1908 (1908a) : 2–3.
- La dynamique de l'électron. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 19 (1908b) : 386–402.
- L'avenir des mathématiques. *Revue générale des sciences pures et appliquées* 19 (1908c) : 930–939.
- Lord Kelvin. *Lumière électrique* 1 (1908d) : 139–147.
- *Science et méthode*. Paris : Flammarion, 1908e.
- Sur la télégraphie sans fil. *Lumière électrique* 4 (1908f) : 259–266, 291–297, 323–327, 355–359, 387–393.
- Sur la théorie de la commutation. *Lumière électrique* 2 (1908g) : 295–297.

- *Thermodynamique*. Publié par J. Blondin. Paris : Gauthier-Villars, 2<sup>de</sup> édition, 1908h.
- Anwendung der Integralgleichungen auf Hertz'sche Wellen. In Poincaré (1910d), 23–31, 1910a.
- Conférence sur les comètes. *Bulletin de la société industrielle de Mulhouse* (1910b) : 311–323.
- *Savants et écrivains*. Paris : Flammarion, 1910c.
- *Sechs Vorträge über ausgewählte Gegenstände aus der reinen Mathematik und mathematischen Physik*. Leipzig/Berlin : Teubner, 1910d.
- Sur la diffraction des ondes hertziennes. *Rendiconti del circolo matematico di Palermo* 29 (1910e) : 169–259.
- Sur l'envoi de l'heure par la télégraphie sans fil. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 151 (1910f) : 911.
- Über einige Gleichungen in der Theorie der Hertz'schen Wellen. *Mathematisch-Naturwissenschaftliche Blätter* 8 (1910g).
- Le démon d'Arrhénius. In *Hommage à Louis Olivier*, 281–287. Paris : Imprimerie de L. Maretheux, 1911a.
- *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*. Publié par H. Vergne. Paris : Hermann, 1911b.
- L'évolution des lois. *Scientia (Rivista di Scienza)* 9 (1911c) : 275–292.
- Sur diverses questions relatives à la télégraphie sans fil. *Lumière électrique* 13 (1911d) : 7–12, 35–40, 67–72, 99–104.
- Sur la théorie des quanta. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 153 (1911e) : 1103–1108.
- L'hypothèse des quanta. *Revue scientifique* 50 (1912a) : 225–232.
- Sur la diffraction des ondes hertziennes. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 154 (1912b) : 795–797.
- Sur la théorie des quanta. *Journal de physique et Le Radium* 2 (1912c) : 5–34.
- *La dynamique de l'électron*. Publié par M. Viard. Paris : Dumas, 1913.
- *Wissenschaft und Methode*. Publié par F. Lindemann et L. Lindemann. Leipzig/Berlin : Teubner, 1914.
- *Œuvres*. 11 vols. Publié par P. Appell, A. Châtelet, J. Drach, R. Garnier, G. Julia, J. Leray, J. Lévy, et G. Petiau. Paris : Gauthier-Villars, 1916–1956.
- Analyse des travaux scientifiques de Henri Poincaré faite par lui-même. *Acta mathematica* 38 (1921) : 1–135.
- Extrait d'un mémoire inédit de Henri Poincaré sur les fonctions fuchsiennes. *Acta mathematica* 39 (1923) : 58–93.
- Les limites de la loi de Newton. *Bulletin astronomique* 17 (1953) : 121–269.
- La correspondance d'Henri Poincaré avec des mathématiciens de A à H. *Cahiers du séminaire d'histoire des mathématiques* 7 (1986) : 59–219.
- *Trois suppléments sur la découverte des fonctions fuchsiennes*. Publié par J. Gray et S. Walter. Berlin : Akademie-Verlag, 1997.
- *La Correspondance entre Henri Poincaré et Gösta Mittag-Leffler*. Publié par Ph. Nannonand. Basel : Birkhäuser, 1999.
- Poincaré, H. et Potier, A. Sur les expériences de M. Crémieu et une objection de M.

- Wilson. *Éclairage électrique* 31 (1902) : 83–93.
- Poincaré, L. *La physique moderne ; son évolution*. Paris : Flammarion, 1906g.
- Potier, A. Recherches sur la réflexion vitreuse et métallique. *Association française pour l'avancement des sciences* 1 (1872a) : 308–320.
- Sur les changements de phase produits par la réflexion métallique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 75 (1872b) : 674.
- Observations sur les expériences de M. O. Wiener. *Journal de physique théorique et appliquée* 10 (1891a) : 101–112.
- Remarques à l'occasion de la Note de M. Poincaré sur l'expérience de M. O. Wiener. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 112 (1891b) : 383–386.
- Sur l'effet magnétique de la convection électrique. *Éclairage électrique* 25 (1900) : 352–353.
- *Mémoires sur l'électricité et l'optique*. Publié par A. Blondel. Paris : Gauthier-Villars, 1912.
- Poynting, J.H. On the transfer of energy in the electromagnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 175 (1884) : 343–361.
- Prentis, J.J. Poincaré's proof of the quantum discontinuity of nature. *American Journal of Physics* 63 (1995) : 339–350.
- Pyenson, L. *The Goettingen reception of Einstein's general theory of relativity*. Thèse, Johns Hopkins University, 1973.
- Pyenson, L. et Haubold, B. Michelson's first ether-drift experiment in Berlin and Potsdam. In Goldberg et Stuewer (1988) : 42–54.
- Quinn, S. *Marie Curie : A Life*. New York : Simon and Schuster, 1995.
- Raveau, C. Sur la théorie de la lumière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 112 (1891) : 853–855.
- Reingold, N., dir. *Science in Nineteenth-Century America : A Documentary History*. New York : Hill and Wang, 1964.
- Righi, A. Sul fenomeno di Zeeman nel caso generale d'un raggio luminoso comunque inclinato sulla direzione della forza magnetica. *Nuovo cimento* 11 (1900) : 177–206.
- Sui campi elettromagnetici e particolarmente su quelli creati da cariche elettriche o da poli magnetici in movimento. *Nuovo cimento* 2 (1901a) : 104–121.
- Sui campi elettromagnetici e particolarmente su quelli creati da cariche elettriche o da poli magnetici in movimento. *Memorie dell'Accademia di Bologna* (1901b).
- Sulla questione del campo magnetico generato dalla convezione elettrica, e su altre questioni. *Nuovo cimento* 2 (1901c) : 233–256.
- Ancora sulla questione del campo magnetico generato dalla convezione elettrica. *Nuovo cimento* 3 (1902) : 71–80.
- Sulla cariche elettriche generate dai raggi X sui metalli nel vuoto. *Nuovo cimento* 6 (1903) : 31–49.
- Ritz, W. *Œuvres de Walther Ritz*. Paris : Gauthier-Villars, 1911.
- Robotti, N. et Pastorino, F. Zeeman's discovery and the mass of the electron. *Annals of Science* 55 (1998) : 161–183.
- Rocke, A.J. *Nationalizing Science : Adolphe Wurtz and the Battle for French Chemistry*. Cambridge MA : MIT Press, 2001.



- Rollet, L. *Henri Poincaré : des mathématiques à la philosophie*. Lille : Éditions du Septentrion, 2001.
- Rollet, L. et Nabonnand, Ph. An answer to the growth of mathematical knowledge? The Répertoire bibliographique des sciences mathématiques. *European Mathematical Society Newsletter* 47 (2003) : 9–14.
- Röntgen, W.C. Versuche über die elektromagnetische Wirkung der dielektrischen Polarisation. *Sitzungsberichte der königlich preußischen Akademie der Wissenschaften* (1885) : 195–198.
- . Über eine neue Art von Strahlen (vorläufige Mittheilung). *Sitzungs-Berichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg* (1895) : 132–141.
- Roseveare, N.T. *Mercury's Perihelion : From Le Verrier to Einstein*. Oxford : Oxford University Press, 1982.
- Rosmorduc, J. Une erreur scientifique au début du siècle : 'les rayons N'. *Revue d'histoire des sciences* 25 (1972) : 13–25.
- Rothé, E. *Contribution à l'étude de la polarisation des électrodes*. Thèse, université de Paris, 1904.
- Rouvier, C. *Les idées politiques de Gustave Le Bon*. Paris : Presses universitaires de France, 1986.
- Rowe, D.E. Klein, Mittag-Leffler, and the Klein-Poincaré correspondence of 1881-1882. In *Amphora : Festschrift for Hans Wussing on the Occasion of His 65th Birthday*. Publié par S.S. Demidov et M. Folkerts, 597–618. Basel : Birkhäuser, 1992.
- Rowland, H.A. Sur l'action électromagnétique de la convection électrique. *Annales de chimie et de physique* 12 (1877) : 119–124.
- Sagnac, G. Sur la diffraction et la polarisation de rayons de M. Röntgen. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 122 (1896) : 783–785.
- . Émission de rayons secondaires par l'air sous l'influence des rayons X. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 126 (1898) : 521–523.
- . Nouvelle manière de considérer la propagation des vibrations lumineuses à travers la matière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 129 (1899a) : 756–758.
- . Théorie nouvelle des phénomènes optiques d'entraînement de l'éther par la matière. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 129 (1899b) : 818–821.
- . *De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent*. Thèse, université de Paris, 1900a.
- . Relations nouvelles entre la réflexion et la réfraction vitreuses de la lumière. In *Recueil de travaux offerts par les auteurs à H.A. Lorentz*. Publié par J. Bosscha, 377–394. Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles 5. La Haye : Nijhoff, 1900b.
- . Théorie nouvelle de la transmission de la lumière dans les milieux en repos ou en mouvement. *Journal de physique théorique et appliquée* 9 (1900c) : 177–189.
- . La longueur d'onde des rayons n déterminée par la diffraction. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1903) : 173–177.
- . L'éther lumineux démontré par l'effet du vent relatif d'éther dans un interféromètre en rotation uniforme. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 157

- (1913) : 708–710.
- Sagnac, Ph. Georges Sagnac. *Association amicale des anciens élèves de l'École normale supérieure* (1929) : 42–45.
- Sarasin, E. K. Waitz : Sur les longueurs d'onde des ondulations électriques. *Archives des sciences physiques et naturelles* 24 (1890) : 651–653.
- Sarasin, E. et La Rive, L. de. Résonance multiple des ondulations électriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 110 (1890a) : 72–75.
- Sur la résonance multiple des ondulations électriques de M. Hertz se propageant le long de fils conducteurs. *Archives des sciences physiques et naturelles* 23 (1890b) : 113–160.
- Sur les ondulations électrique hertziennes. *Archives des sciences physiques et naturelles* 23 (1890c) : 557–559.
- Propagation de l'ondulation électrique hertzienne dans l'air. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 112 (1891) : 658–661.
- Sur l'égalité des vitesses de propagation de l'ondulation électrique dans l'air et le long de fils conducteurs, vérifiée par l'emploi d'une grande surface métallique. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 115 (1892) : 1277–1280.
- Scheutzel, P. *Wilhelm Conrad Röntgen : Unsichtbares wird sichtbar*. Berlin : Quintessenz Verlag, 1995.
- Seelig, C. *Albert Einstein : Eine dokumentarische Biographie*. Zurich : Europa Verlag, 1954.
- Seliger, H.H. Wilhelm Conrad Röntgen and the glimmer of light. *Physics Today* 48 (1995) : 25–31.
- Seth, S. Quantum theory and the electromagnetic world-view. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 35 (2004) : 67–93.
- Shinn, T. The French science faculty system, 1808–1914 : Institutional change and research potential in mathematics and the physical sciences. *Historical Studies in the Physical Sciences* 10 (1979) : 271–332.
- Siegel, D.M. Thomson, Maxwell, and the universal ether in Victorian physics. In *Conceptions of Ether : Studies in the History of Ether Theories 1740–1900*. Publié par G.N. Cantor et M.J.S. Hodge, 239–268. Cambridge : Cambridge University Press, 1981.
- Sivadjian, J. Le champ et le mouvement. *Archives des sciences physiques et naturelles* 6 (1953) : 191–228.
- Smith, C. et Wise, M.N. *Energy and Empire : A Biographical Study of Lord Kelvin*. Cambridge : Cambridge University Press, 1989.
- Solais, M. Charles-Marie Gariel : l'âme de l'Association. In Gispert (2002), 57–65.
- Solla Price, D. J. de. *Science Since Babylon*. New Haven : Yale University Press, 1961.
- Solvay, E. Allocution. In Langevin et Broglie (1912), 1–5.
- Sommerfeld, A. Mathematische Theorie der Diffraction. *Mathematische Annalen* 47 (1896) : 317–374.
- Sommerfeld, A., dir. *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen V : Physik*. 3 vols. Leipzig : Teubner, 1903–1926.
- Sommerfeld, A. Über die Ausbreitung der Wellen in der drahtlosen Telegraphie. *Annalen der Physik* 28 (1909) : 665–736.



- . *Wissenschaftlicher Briefwechsel*. 2 vols. Publié par M. Eckert et K. Märker. Diepholz : GNT-Verlag, 2001–2004.
- Soret, C. Quelques difficultés de la théorie élémentaire de la polarisation diélectrique. *Archives des sciences physiques et naturelles* 28 (1892) : 334–353.
- Speziali, P. *Physica genevensis : la vie et l'œuvre de 33 physiciens genevois, 1546–1953*. Publié par C.P. Enz. Chêne-Bourg : Georg, 1997.
- Staley, R. Travelling light. In *Instruments, Travel and Science : Itineraries of Precision from the 17th to the 20th Century*. Publié par M.-N. Bourguet, C. Licoppe, et O. Sibum, 243–272. London : Routledge, 2002.
- Sutherland, W. The Crémieu-Pender discovery. *Philosophical Magazine* 7 (1904) : 405–407.
- Sweetnam, G. *The Command of Light : Rowland's School of Physics and the Spectrum*. Philadelphia : American Philosophical Society, 2000.
- Tait, P.G. *Sketch of Thermodynamics*. Edinburgh : Edmonston and Douglas, 1868.
- . *Heat*. London : Macmillan, 2<sup>de</sup> édition, 1892a.
- . Poincaré's Thermodynamics. *Nature* 45 (1892b) : 245–246.
- . Poincaré's 'Thermodynamics'. *Nature* 45 (1892c) : 439.
- . Poincaré's 'Thermodynamics'. *Nature* 45 (1892d) : 532.
- . Poincaré's Thermodynamics. *Nature* 46 (1892e) : 76.
- Tannery, J. *Science et philosophie*. Publié par E. Borel. Paris : Alcan, 1911.
- Terrat-Branly, J. *Mon père Édouard Branly*. Paris : Corrêa, 1941.
- Thompson, S.P. *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*. 2 vols. London : Macmillan, 1910.
- Thomson, J.J. Note on the effect produced by conductors in the neighbourhood of a wire on the rate of propagation of electrical disturbances along it, with a determination of this rate. *Proceedings of the Royal Society of London* 46 (1889a) : 1–13.
- Thomson, W. On the rigidity of the earth ; shiftings of the earth's instantaneous axis of rotation ; and irregularities of the earth as a timekeeper. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 153 (1863) : 573–582.
- . Presidential address. *Report-British Association* 46 (1876) : 1–12.
- . On the thermoelastic, thermomagnetic and pyroelectric properties of matter. *Philosophical Magazine* 5 (1878) : 4–27.
- . *Mathematical and Physical Papers*. 6 vols. Cambridge : Cambridge University Press, 1882–1911.
- . Molecular constitution of matter. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 16 (1889b) : 693–724.
- . *Popular Lectures and Addresses*. 3 vols. London : Macmillan, 1889c.
- . On a theorem in plane kinetic trigonometry suggested by Gauss's theorem of Curvatura Integra. *Philosophical Magazine* 32 (1891a) : 471–473.
- . On instability of periodic motion. *Proceedings of the Royal Society of London* 50 (1891b) : 194–200.
- . On instability of periodic motion, being a continuation of article on periodic motion of a finite conservative system. *Philosophical Magazine* 32 (1891c) : 555–560.
- . On periodic motion of a finite conservative system. *Philosophical Magazine* 32

- (1891d) : 375–383.
- On the dissipation of energy. *Fortnightly Review* 51 (1892) : 313–321.
- *Constitution de la matière ; Conférences scientifiques et allocutions*. Paris : Gauthier-Villars, 1893.
- *Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light*. Cambridge : Cambridge University Press, 1904.
- Thomson, W. et Tait, P.G. *Treatise on Natural Philosophy*. Cambridge : Cambridge University Press, 1867.
- *Treatise on Natural Philosophy*. 2 vols. Cambridge : Cambridge University Press, 2<sup>de</sup> édition, 1879.
- Thuillier, P. La triste histoire des rayons N. *Recherche* 9 (1978) : 1093–1101.
- Turpain, A. Sur la propagation des oscillations électriques dans l'eau. *Procès-verbaux des séances de la société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux* (1898–1899) : 103–108.
- *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques*. Thèse, Faculté des sciences de Bordeaux, 1899a.
- Sur la propagation des oscillations électriques dans les milieux diélectriques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 129 (1899b) : 670–672.
- Sur les applications possibles de la télégraphie dite sans fils. *Éclairage électrique* 20 (1899c) : 357–358.
- Vasilescu-Karpen, N. Sur la Convection électrique. *Bulletin des séances de la société française de physique* (1903) : 162–172.
- Venable, W.H. et Venable Jr., W.H. Samuel P. Langley's bolometer, the quantitative measurement of energy distribution in radiation and the discovery of the far infra-red. In *Actes du XII<sup>e</sup> congrès international d'histoire des sciences V* : 107–110. Paris : Blanchard, 1971.
- Villard, P. Sur les rayons cathodiques. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 138 (1904a) : 1408–1411.
- Sur les rayons cathodiques et les lois de l'électromagnétisme. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 139 (1904b) : 1200–1202.
- Sur les rayons cathodiques ; réponse à la Note de M. Pellat. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 139 (1904c) : 42–44.
- Voigt, W. Theorie der optischen Eigenschaften der Metalle. *Nachrichten von der Königliche Gesellschaft der Wissenschaften und der Georg-August-Universität zu Göttingen* (1884a) : 137–174.
- Theorie der Quincke'schen Beobachtungen über totale Reflexion. *Nachrichten von der Königliche Gesellschaft der Wissenschaften und der Georg-August-Universität zu Göttingen* (1884b) : 49–67.
- Volterra, V. Sopra alcune applicazioni delle leggi del flusso di energia meccanica nel moto dei corpi che si attraggono colla legge di Newton. *Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino* 34 (1899a) : 805–817.
- Sul flusso di energia meccanica. *Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino* 34 (1899b) : 366–375.
- Betti, Brioschi, Casorati, trois analystes italiens et trois manières d'envisager les

- questions d'analyse. In Duporcq (1902), 43–57, 1902a.
- Sur les équations aux dérivées partielles. In Duporcq (1902), 377–378, 1902b.
- Sulle equazioni della elettrodinamica. *Atti della R. Accademia dei Lincei, Rendiconti della Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali* 18 (1909a) : 203–211.
- Sulle equazioni integro-differenziali della teoria dell'elasticità. *Atti della R. Accademia dei Lincei, Rendiconti della Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali* 18 (1909b) : 295–301.
- *Leçons sur les fonctions de lignes*. Paris : Gauthier-Villars, 1913.
- L'œuvre mathématique. In Boutroux et al. (1914), 3–49.
- Henri Poincaré. *Rice Institute Pamphlet* 1 (1915) : 133–162.
- Volz, R.W., dir. *Reichshandbuch der deutschen Gesellschaft : das Handbuch der Persönlichkeiten in Wort und Bild*. 2 vols. Berlin : Deutscher Wirtschaftsverlag, 1930–1931.
- Waltz, K. Über die Wellenlängen elektrischer Schwingungen. *Annalen der Physik und Chemie* 41 (1890) : 435–447.
- Walter, S. Breaking in the 4-vectors : the four-dimensional movement in gravitational physics, 1905–1910. In *The Genesis of General Relativity*. 4 vols. Publié par J. Renn et M. Schemmel, III : 193–252. Berlin : Springer, 2007a.
- Hypothesis and convention in Poincaré's defense of Galilei spacetime. In *The Significance of the Hypothetical in the Natural Sciences*. Publié par M. Heidelberger et G. Schiemann. Berlin : De Gruyter, 2007b.
- Warwick, A.C. Cambridge mathematics and Cavendish physics : Cunningham, Campbell and Einstein's relativity 1905–11 ; Part II. *Studies in History and Philosophy of Science* 24 (1993) : 1–25.
- *Masters of Theory : Cambridge and the Rise of Mathematical Physics*. Chicago : University of Chicago, 2003.
- Weart, S. A little more light on N-rays. *American Journal of Physics* 46 (1978) : 306.
- Weiher, S. von. Korn, Arthur. In *Neue deutsche Biographie* XII : 588. Berlin : Duncker & Humblot, 1980.
- Weiss, P. Préface. In *Œuvres de Walther Ritz*, vii–xxii. Paris : Gauthier-Villars, 1911.
- Wheaton, B.R. *The Tiger and the Shark : Empirical Roots of Wave-Particle Dualism*. Cambridge : Cambridge University Press, 1983.
- Wheeler, J.A. et Ciufolini, I. *Gravitation and Inertia*. Princeton : Princeton University Press, 1995.
- Wheeler, L.P. *Josiah Willard Gibbs : The History of a Great Man*. New Haven : Yale University Press, 1951.
- Whittaker, E.T. Vito Volterra, 1860–1940. *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society* 3 (1941) : 690–729.
- *A History of the Theories of Aether and Electricity*. 2 vols. London : T. Nelson, 1951–1953.
- Wiener, O. Stehende Lichtwellen und die Schwingungsrichtung polarisierten Lichtes. *Annalen der Physik und Chemie* 40 (1890) : 203–213.
- Willotte, H. Études sur l'emploi des percussions dans la théorie du mouvement d'un solide plongé dans un fluide. *Journal de mathématiques pures et appliquées* 7 (1891) : 399–431.

- Études sur l'emploi des percussions dans la théorie du mouvement d'un solide plongé dans un fluide (II). *Journal de mathématiques pures et appliquées* 9 (1893) : 5–28.
- Études sur l'emploi des percussions dans la théorie du mouvement d'un solide plongé dans un fluide (III). *Journal de mathématiques pures et appliquées* 10 (1894) : 93–116.
- Wilson, H.A. On the magnetic effect of electric convection, and on Rowland's and Crémieu's experiments. *Philosophical Magazine* 2 (1901) : 144–150.
- Wood, R.W. The N-rays. *Nature* 70 (1904) : 530–531.
- Wurtz, A. *Histoire des doctrines chimiques depuis Lavoisier jusqu'à nos jours*. Paris : Hachette, 1869.
- Yavetz, I. *From Obscurity to Enigma : The Work of Oliver Heaviside, 1872–1889*. Basel/Boston : Birkhäuser, 1995.
- Yeang, C.-P. The study of long-distance radio-wave propagation, 1900–1919. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 33 (2003) : 369–404.
- Zahar, E. *Einstein's Revolution : A Study in Heuristic*. La Salle, Ill. : Open Court, 1989.
- Zeeman, P. Doublets and triplets in the spectrum produced by external magnetic forces. *Philosophical Magazine* 44 (1897a) : 55–60, 255–259.
- Lignes doubles et triples dans le spectre, produites sous l'influence d'un champ magnétique extérieur. *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences* 124 (1897b) : 1444–1445.
- On the influence of magnetism on the nature of light emitted by a substance. *Communications from the Laboratory of Physics at the University of Leiden* 33 (1897c) : 3–18.
- On the influence of magnetism on the nature of light emitted by a substance ; appendix to No. 33. *Communications from the Laboratory of Physics at the University of Leiden* 36 (1897d) : 3–8.
- Over doubletten en tripletten in het spektrum, teweegebracht door uitwendige magnetische krachten. *Verslagen van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeling, Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam* 6 (1897e) : 13–18, 99–102, 260–262.
- Zenneck, J. Gravitation. In Sommerfeld (1903–1926), I : 25–67, 1903.

## Index nominum

- Abraham, Henri, 256, 318, 403, 427  
 Abraham, Max, 18, 162, 257–259, 402, 417, 427, 433, 439  
 Achinstein, Peter, 365  
 Adams, Edwin Plimpton, 398  
 Almagià, Virginia, 374  
 Amagat, Émile-Hilaire, 405, 412, 424  
 Ames, Joseph S., 1, 2, 111, 135  
 Ampère, André Marie, 12, 58, 133, 323  
 Andersson, K.G., 354  
 Andoyer, Henri, 436  
 André, général, 262  
 Andrews, Thomas, 388  
 Appell, Paul, 21, 26, 247, 283, 284, 388, 391, 405, 428, 435, 436  
 Armstrong, Henry E., 271  
 Arnoux, Gabriel, 12  
 Arons, Leo, 174  
 Arrhenius, Svante, xv, 3–5  
 Arsonval, Arsène d', 215, 217–219  
 Arzeliès, Henri, 112, 327  
 Ascoli, Marcel, 61  
 Ashmore, Malcolm, 76  
 Atten, Michel, xi, 113, 366  
 Austin, Louis W., 342  
  
 Backlund, Oscar, 419  
 Bäcklund, Albert Victor, 6, 8, 391, 392  
 Baker, H.F., 267  
 Balfour, Isaac Bayley, 360  
 Bandsept, 401  
 Barkan, Diana Kormos, 339, 340  
 Barral, 243  
 Barrow-Green, June, 198, 199, 318, 354  
 Bassot, Léon, 405  
 Becquerel, Antoine, 9  
 Becquerel, Edmond, 9, 12, 72, 366  
 Becquerel, Henri, ix–xi, 9, 12, 17, 19, 45, 59, 70, 72, 78, 80, 105, 149–151, 215, 227, 229, 233, 236, 279, 321, 375, 400, 405–407, 411, 412, 418, 423, 426, 427, 434  
 Becquerel, Jean, 17, 73, 78–80, 82, 375, 426, 427  
 Beer, Gillian, 8  
 Belhoste, Bruno, 18, 371  
 Beltrami, Eugenio, 367  
 Bendixson, Ivar, 419  
 Bensaude-Vincent, Bernadette, 208  
 Benz, Ulrich, 342  
 Berget, Alphonse, 218  
 Berthelot, Marcelin, 19, 47, 231, 234–237, 242, 243, 283, 379  
 Bertrand, Joseph, xvi, 47, 202, 210, 234, 271, 283, 371, 379, 414, 421, 432  
 Bethenod, Joseph, 31  
 Betti, Enrico, 369, 370  
 Bezold, Wilhelm von, 96  
 Bichat, Ernest, 70, 82  
 Biot, Jean-Baptiste, 352  
 Birkeland, Kristian, 21–25, 31, 275, 389, 400, 401, 417  
 Bjerknes, Carl Anton, 24, 26  
 Bjerknes, Vilhelm, 21, 26, 37, 191  
 Blanc, Karin, xvii  
 Bloch, Richard, 29, 30  
 Blondel, André, xv, 31–35, 286  
 Blondlot, René, xv, 18, 19, 23, 36, 38, 40, 41, 43–49, 51–53, 57–63, 65, 66, 68, 70–82, 99, 105, 111, 113, 125, 172–176, 179–182, 189, 190, 196, 231, 310, 311, 314, 322, 394, 401, 408  
 Boggio, Tommaso, 203  
 Bolmont, Étienne, 183  
 Boltzmann, Ludwig, 3, 162, 196, 321, 415, 422, 433  
 Bonavita, 401  
 Bonnet, Ossian, 379

- Borchardt, Carl, 307  
Bordier, Henri, 78  
Borel, Émile, 370, 372  
Bork, Alfred M., 345  
Bornet, Édouard, 412  
Bose, Jagdish Chandra, 394, 403  
Bottazzini, Umberto, 368, 370  
Bou langer, Auguste, 262  
Bouquet, Jean-Claude, 379  
Boussinesq, Joseph, x, 83, 84, 86, 88, 89, 91, 384, 400, 424, 436  
Boutroux, Aline Poincaré, 46, 57  
Boutroux, Émile, 57, 101  
Boutroux, Pierre, 57  
Bouty, Edmond, 45, 46, 111, 134, 137, 138, 158, 207, 215, 278, 307, 327, 364, 436  
Branly, Édouard, 92, 93, 149, 364  
Braun, Ferdinand, 162, 342, 410, 419  
Bret, Patrice, 234  
Brigaglia, Aldo, xvi  
Brillouin, Léon, 208  
Brillouin, Marcel, xii, 91, 94, 99, 111, 187, 188, 190, 207, 339, 340, 436  
Brioschi, Francesco, 369, 370  
Briot, Charles, 261, 291, 383, 384  
Broca, André, 25, 33, 80, 82, 92, 164  
Broglie, Louis de, xii, 31, 33, 317  
Broglie, Maurice de, 208, 339, 340  
Brouzeng, Paul, 157, 158  
Brunhes, Bernard, 57, 188, 318  
Bucherer, Alfred, 257–259, 439  
Buchwald, Jed Z., 110, 113, 183, 213, 251, 381, 382, 401, 426  
Bumstead, Henry A., 166  
Bunsen, Robert, 387  
Burke, William J., 21, 24, 25  
Bustamante, Martha-Cécilia, 208  
Cailletet, Louis, 400, 405, 412  
Calinon, Auguste, 100–103  
Callandreau, Octave, 318, 405  
Campbell, William Wallace, 4  
Cantor, Moritz, 369  
Carazza, Bruno, 25, 275  
Carlheim-Gyllensköld, Vilhelm, 419  
Carnot, Sadi, 217, 347, 349, 386, 387  
Carrère d'Encausse, Hélène, xvii  
Carvalho, Emmanuel, 17, 18, 58, 104, 105, 131, 383, 384  
Casorati, Felice, 370  
Castan, général, 237  
Castelnuovo, Guido, 372  
Cauchy, Augustin-Louis, 292, 352, 371, 383, 409, 441  
Cayley, Arthur, 354  
Cazenobe, Jean, 23  
Chappuis, Pierre, 78  
Charlier rédacteur au *Temps*, 19  
Charpentier, Augustin, 68, 70  
Chatin, Joannès, 19  
Ciufolini, Ignazio, 323  
Clark, Ronald A., 378  
Clausius, Rudolf, 4, 160, 187, 320, 339, 348, 387, 414, 421, 432  
Clémenceau, Georges, 235, 236, 240  
Cohn, Emil, 173, 174, 254, 381  
Colardeau, Emmanuel, 57  
Colley, Robert, 96  
Combes, Alphonse, 106  
Combes, Charles, 106  
Comon, Lucie, 68  
Cordes, Ellen, xvii  
Cornu, Alfred, x, xi, 18, 26, 38, 88, 104, 107, 108, 165, 185, 285, 292, 331, 398, 400, 401  
Cosserat, Eugène, 417  
Cosserat, François, 417  
Crémieu, Pierre, 113  
Crémieu, Victor, xv, xxii, 1, 2, 36, 51, 52, 65, 109–112, 114–117, 119–126, 131, 133–137, 139, 148, 174, 213, 214, 228, 246, 249, 277, 278, 285, 295, 296, 298, 299, 304–307, 309, 311, 313, 364, 394–398  
Crawford, Elizabeth, xi, 3, 152, 405, 435

- Crofton, Morgan William, 391  
 Crookes, William, 25, 54, 56, 57, 82  
 Curie, Marie Skłodowska, x, 9, 149–152, 208, 215, 321, 339, 340, 375, 403, 411, 418, 436  
 Curie, Pierre, 9, 36, 61, 149–152, 207, 208, 215, 321, 322, 403, 405, 407, 418  
 Cuvaj, Camillo, 259  
 Darboux, Gaston, xii, xxii, 19, 96, 101, 158, 263, 283, 371, 373, 405–407, 411–413, 416, 419, 420, 424, 428, 430, 434, 436, 440–442  
 Darrieus, Henri, xvii  
 Darrigol, Olivier, x, xvii, 12, 35, 83, 112, 113, 185, 213, 254, 257, 292, 308, 309, 313, 319, 321, 401, 417  
 Darwin, George Howard, xvi, 358  
 Dautriche, Henri Joseph, 242  
 DeKosky, Robert K., 25  
 Delsaux, C., 153, 156  
 Denis, C<sup>t</sup>, 12  
 Desains, Paul, 92  
 Deslandres, Henri, 405, 412, 424, 425  
 Dini, Ulisse, 367  
 Dirichlet, Peter Gustav Lejeune, 376, 414, 420, 421, 430, 431  
 Donniez, 403  
 Drude, Paul, 110, 176, 181, 381  
 Dufour, Alexandre, 427  
 Dufour, Marcel, 37, 38, 41, 426  
 Duhamel, Jean-Marie-Constant, 103  
 Duhem, Pierre, 157, 158, 436  
 Dumas, Jean-Baptiste, 379  
 Ebert, Hermann, xxii, 159, 161, 282  
 Eckert, Michael, 204, 342  
 Eddington, Arthur, 213  
 Egeland, Alv, 21, 24, 25  
 Ehrenfest, Paul, 162, 163, 337  
 Ehrenfest, Tatyana, 162  
 Eichenwald, Alexander, 112, 113, 139  
 Einstein, Albert, x, 149, 162, 208, 252, 259, 337–340, 375, 377, 378  
 Elizabeth I, reine, 321  
 Epple, Moritz, 345  
 Evans, John, 360  
 Ewald, Peter Paul, 341  
 Fabry, Charles, 279  
 Fallières, Armand, 234  
 Faraday, Michael, 58, 109, 188, 272, 285, 352, 385, 398, 399, 437  
 Farman, Henri, 419  
 Ferrié, Gustave, 262  
 Feynman, Richard, 259  
 Fichera, Gaetano, 368  
 Firth, Ian, 36  
 FitzGerald, George Francis, x, 110, 196, 417, 440  
 Fizeau, Hippolyte, 40, 45, 165, 322, 327, 328, 398  
 Flammarion, Ernest, 216  
 Floquet, Gaston, 57, 82  
 Fölsing, Albrecht, 183  
 Forman, Paul, 377  
 Forsyth, Andrew Russell, 360  
 Foster, Michael, 360  
 Fourier, Joseph, 194, 265, 268, 352, 376, 441  
 Frängsmyr, Tore, xvii  
 Franklin, Allan, 114  
 Fredholm, Ivar, 376, 414, 421, 428, 435, 436  
 Fresnel, Augustin, 14, 58, 60, 108, 165, 251, 285, 288, 289, 291–293, 328, 341, 384, 409, 415, 421, 431, 437  
 Fricke, Robert, 315, 316  
 Fricker, 401  
 Friedman, Robert Marc, 26  
 Fuchs, Lazarus, 400  
 Gaiffe, P., 59  
 Galdabini, Silvana, 367



- Galison, Peter, xi  
Galitzine, Boris Borisovich, 272  
Gariel, Charles-Marie, 92, 108, 164, 165, 403  
Gauja, Pierre, 92, 183, 282, 377  
Gauss, Carl Friedrich, 185, 291, 441  
Gauthier-Villars, Albert, 403  
Geissler, Heinrich, 181, 191  
Gerlach, Walter, 159  
Gernez, Désiré, 207, 424  
Gibbs, J. Willard, 162, 166–168, 234, 266, 267, 269, 345  
Gibbs, Wolcott, 168  
Gidel, Philippe, 281, 282  
Giesel, Friedrich, 215, 404  
Gifford, J. William, 321  
Gilbert, William, 321  
Gilles, G., 169  
Gilman, Daniel Coit, 1, 2, 113  
Gispert, Hélène, 12, 208, 384  
Giuliani, Giuseppe, 367  
Glazebrook, J.T., 360  
Goetz, François, 170  
Goisot, G., 370  
Goldberg, Stanley, 267  
Goldschmidt, Robert, 338–340  
Goodstein, Judith, 246, 368  
Gossot, Hubert, 243  
Goudin, 156  
Gounelle, E., 41  
Goursat, Édouard, 6  
Gouy, Georges, x, 274, 327, 341, 409, 415, 421, 431  
Grandidier, Marguerite, 164  
Grandin, Karl, xvii  
Gray, Andrew, x, 125, 214  
Gray, Jeremy, 316, 368, 380, 417  
Green, A.H., 360  
Green, George, 362, 441  
Grefte, Florence, xvii  
Grelon, André, 235  
Guébbard, Adrien, 402  
Guillaume, Ch.-Édouard, 34, 170, 171, 403  
Guillet, Amédée, 318  
Gutton, Camille, 47, 53, 57, 73, 74, 77, 80–82, 126, 172–177, 179, 182, 308, 392–394, 403  
Guyon, Félix, 13  
Hénoque, Albert, 401  
Hadamard, Jacques, 166, 203  
Haeckel, Ernst, 202  
Hagenbach-Bischoff, Eduard, 23, 196  
Hall, Edwin, 410  
Haller, Albin, 68, 234, 236, 237, 239, 243, 244, 405  
Haller, Georges, viii  
Halphen, Georges-Henri, 380  
Hamilton, William Rowan, 345  
Hamy, Maurice, 306  
Hasenöhr, Friedrich, 339, 340  
Hasselberg, Bernhard, 400  
Haubold, Barbara, 267  
Hautefeuille, Paul, 151, 152  
Hayward, R.B., 267  
Heaviside, Oliver, 109, 313, 345  
Heinzmann, Gerhard, xvii  
Heisenberg, Werner, 341  
Helland-Hansen, Bjørn, 24  
Helmholtz, Hermann von, x, 1, 4, 8, 26, 157, 159, 160, 172, 174, 210, 231, 249, 253, 308, 309, 318, 321, 345, 352, 386, 388, 413, 423, 434  
Hermite, Charles, 45, 158, 198, 207, 307, 371, 379  
Hertz, Heinrich, x, xv, xvi, 23, 26, 31, 34, 36, 48, 50, 54, 77, 92, 97, 109, 110, 113, 162, 179, 180, 183–192, 195–200, 202, 209, 211, 249, 252, 254, 296, 299, 300, 305, 309, 312, 319, 327, 330–333, 335, 389, 391, 398, 410, 414, 421, 428, 432  
Herzen, Édouard, 339, 340  
Hewitt, Edwin, 267  
Hewitt, Robert E., 267



- Hilbert, David, 162, 163, 341, 342, 369  
Himstedt, Franz, 112, 394  
Hitler, Adolf, 204  
Hon, Giora, 259  
Hong, Sungook, 92  
Hostelet, Georges, 339, 340  
Hoüel, Jules, 101  
Hugon, 401  
Humbert, Georges, 405  
Hunt, Bruce, 417  
Hurwic, Anna, 151  
Hurwitz, Adolf, 341
- Indorato, Luigi, 112–114, 120, 122, 124–  
126, 131, 134, 135, 139, 214
- Jago, Lucy, 21  
Jamin, Jules, 261, 285, 289  
Janet, Paul, 234, 436  
Janssen, Jules, 19  
Janssen, Michel, 254  
Jaumann, Gustav, 82, 321  
Jeans, James, x, 338–340  
Jones, Daniel Evan, 389  
Jordan, Camille, 207  
Joubert, Jules, 196, 198, 199  
Joule, James, 18, 51, 98, 348–350, 386  
Jungnickel, Crista, 113, 203, 204, 292,  
309, 339, 345
- Kammerlingh Onnes, Heike, 260, 340,  
381, 427  
Kapteyn, Jacobus Cornelius, 4  
Kargon, Robert, 365  
Katzir, Shaul, 61  
Kaufmann, Walter, 18, 230, 259, 439  
Kelvin, *voir* Thomson, William  
Kerr, John, 181, 264, 381  
Kevles, Daniel J., 267  
Kirchhoff, Gustav, 183, 341, 391  
Kirk, John, 360  
Klein, Félix, 162, 207, 208, 271, 315,  
316  
Klein, Martin J., 163, 166
- Klotz, Irving M., 36  
Knott, Cargill Gilston, 345  
Knudsen, Martin, 340  
Koehler, Albert, 242  
Kohlrausch, Friedrich, 3, 320  
Korn, Arthur, 203, 204  
Korn, Elizabeth, 204  
Korn, Terry, 204  
Kounelis, Catherine, 208  
Kox, Anne J., xvii, 381  
Kragh, Helge, 25, 275  
Kress, Wilhelm, 419  
Krips, Henry, 163  
Kuhn, Thomas S., 163  
Kundt, August, 290, 320  
Kutzbach, Gisela, 26
- Lacroix, Alfred, 19  
Lafay, Auguste, 105  
La Fontaine, Jean de, 64  
Lagemann, Robert T., 36  
Lagout, Édouard, 153  
Lagrange, Joseph Louis, 352, 355, 356  
Lamé, Gabriel, 88, 95, 209, 285, 288,  
289, 293, 384  
Langevin, Paul, xix, 36, 113, 207, 208,  
257, 258, 261, 338, 339, 342,  
362, 417, 427  
Langley, Samuel Pierpont, 80, 419  
Lannelongue, Odilon Marc, 13  
Laplace, Pierre-Simon, 197, 299, 352,  
355, 432, 441  
Lapparent, Alfred de, 19, 236, 366, 405,  
412  
La Rive, Auguste de, 209, 329  
La Rive, Lucien de, 21, 26, 38, 41, 173,  
185, 189–193, 196, 201, 209–  
212, 329–332, 334–336, 388,  
389, 417, 424, 435  
Larmor, Joseph, 53, 110, 111, 125, 139,  
207, 213, 214, 231, 252, 338,  
339, 381, 414, 421, 432  
Launois, Eugénie, 46  
Laveran, Alphonse, 19

- Le Bon, Gustave, xv, 101, 215–217, 228  
Lechalas, Georges, 100  
Le Chatelier, Henry, 162, 166, 234–236, 238, 240, 243–245, 424  
Lecher, Ernst, 180, 181, 196, 273, 398  
Leechburch, Harry, xvii  
Legras, Bernard, 38  
Lehmann, Otto, 427  
Leibniz, Gottfried Wilhelm, 101, 430  
Leicht, Hans, 160, 320  
Lemartin de Raspide, Sylvie, 9, 12  
Lemoine, Georges, 405  
Lenard, Philipp, 410  
Leroy, Dr, 401  
Letté, Michel, 235  
Levi-Civita, Tullio, 110, 131, 246, 247, 249, 250, 313  
Levy, Maurice, 94, 405, 412, 437  
Liard, Louis, 282  
Lie, Sophus, 6, 21, 202, 392  
Liénard, Alfred, 18, 105, 254, 256  
Liesse, André, 29  
Lilienthal, Otto, 419  
Lindemann, Ferdinand, 341  
Lindemann, Frederick A., 340  
Liouville, Joseph, 307, 352  
Lippmann, Gabriel, 109, 111, 131, 151, 158, 218, 275, 328, 400, 405–408, 411, 412, 424, 437  
Lipschitz, Rudolf, 196, 197  
Lister, Joseph, 360  
Livingston, Dorothy Michelson, 267, 269  
Loëssel, F.R. von, 419  
Lockyer, Norman, 350  
Lodge, Oliver, 92, 93, 185, 186, 196, 360  
Loewy, Maurice, 405  
Longfellow, Henry Wadsworth, 209  
Lorentz, Hendrik Antoon, x, xi, 49, 51–53, 109–112, 162, 205, 208, 213, 249, 251, 252, 254–260, 285, 308, 322, 323, 328, 337–341, 375, 381, 382, 398–401, 410, 414, 416, 417, 420, 422, 430, 432, 433, 435–440  
Lorenz, Ludvig, 417  
Lorey, Wilhelm, 204  
Love, Augustus Edward Hough, 265–267, 269  
Lubbock, John, 360  
Lugan, Marie, 271  
Lumière, Auguste et Louis, 215  
Lummer, Otto, 36, 68, 78, 314  
Lundquist, L., 400  
MacCullagh, James, 88, 108, 285, 292  
Macdonald, Hector Munro, 341  
Macé de Lépinay, Jules, 73  
Mach, Ernst, 38  
Magnien, Maurice, 31  
Magnus, Gustav, 329, 346, 349, 387  
Malclès, Louis, 137  
Marage, Pierre, 339  
March, Herman William, 342  
Marconi, Guglielmo, 341, 410, 419  
Marey, Étienne-Jules, 234, 403, 419  
Mariotte, Edme, 386  
Märker, Karl, 342  
Marpeau, Benoît, 216  
Marx, Erich, 57  
Mascart, Éleuthère Élie, 70, 82, 94, 207, 208, 228, 234, 261, 262, 405, 412, 427  
Masotto, Guido, xvi, 112–114, 120, 122, 124–126, 131, 134, 135, 139, 214  
Massieu, Jacques, 387  
Maurain, Charles, 323  
Mawhin, Jean, 417  
Maxwell, James Clerk, x, 36, 42, 45, 48, 50–52, 93, 109–112, 131, 172, 174, 186, 187, 189, 209, 210, 231, 246, 251, 253, 256, 272, 285–287, 292, 296, 300, 306, 309, 312, 318, 320, 339, 341, 345, 349, 352, 354, 385, 387, 388, 398, 399, 409, 414, 421, 428, 432, 437, 439  
Mayer, Robert, 386, 387

- Mayring, Eva A., xvii  
 Mazzoni, professeur, 373  
 McCormmach, Robert, 113, 163, 203,  
     204, 252, 254, 258, 292, 309,  
     339, 345  
 McCullagh, James, 362  
 Medicus, Heinrich A., 375  
 Metz, Georg de, 263, 264, 279  
 Miche de Malleray, Anne, xvii  
 Michelson, Albert A., 254, 261, 265–269,  
     427, 428, 438  
 Miller, Arthur I., 112, 254, 256, 258, 259,  
     417, 440  
 Miller, John David, 112  
 Miller, William Hallowes, 388  
 Minkowski, Hermann, x, 205, 206, 208  
 Mittag-Leffler, Gösta, xiv, xvii, xix, 152,  
     187, 318, 354, 362, 369, 374,  
     391, 400, 401, 419, 435  
 Moissan, Henri, 234, 270, 271  
 Moissan, Louis, 271  
 Molk, Jules, 57, 208, 316  
 Monod-Broca, Philippe, 92, 164  
 Morley, Edward Williams, 254, 265  
 Mossotti, Ottaviano, 287  
 Mousson, Albert, 387  
 Mouton, Louis, 294  
 Mussolini, Benito, 367  
  
 Nabonnand, Philippe, xvii, 354, 368  
 Nagaoka, Hantaro, 403  
 Nansen, Fridtjof, 26  
 Nastasi, Pietro, 246  
 Navarro, Luis, 163  
 Nernst, Walther, 71, 74, 162, 337–340  
 Neumann, Carl, 203  
 Neumann, Franz, 35, 109, 285, 292, 384  
 Neumann, Günther, 440  
 Newton, Isaac, 51, 69, 112, 113, 430,  
     439  
 Nicolaïève, Wladimir de, 272, 273, 324,  
     326  
 Nicolaïève, Wladimir de, 272, 323  
 Niven, William Davidson, 360  
  
 Nodon, Albert, 228, 229  
 Nye, Mary-Jo, xvii, 36, 70, 113, 157, 172,  
     215–220, 226, 230–233, 235  
 Nye, Robert, 216  
  
 Oliveira, Mauricio Pietrocola Pinto de,  
     261  
 Orr, William McFadden, 364  
 Oscar II de Suède, roi, 21, 198, 318  
 Ostwald, Wilhelm, 3  
  
 Pacaud, Anatole, 323  
 Painlevé, Paul, 368, 418, 419, 436  
 Pais, Abraham, 418  
 Panza, Marco, 101  
 Paoloni, Giovanni, 368, 369, 441  
 Pastorino, Francesca, 381  
 Paty, Michel, xvii, 430  
 Pauli, Wolfgang, 341  
 Pellat, Henri, 111, 122, 274–276  
 Pender, Harold, 1, 2, 36, 65, 111, 112,  
     119–125, 135–137, 139, 277,  
     278, 307, 364  
 Pérard, Albert, 368  
 Pérez, Enric, 163  
 Perkin, W.H., 360  
 Perot, Alfred, 23, 45, 46, 99, 196, 279–  
     281, 391, 401  
 Perreau, François, 53  
 Perrin, Jean, x, 36, 57, 207, 338–340  
 Pestre, Dominique, xii  
 Petrini, Henrik, 388, 390  
 Philipps, Horatio, 419  
 Phragmén, Edvard, 419  
 Picard, Émile, 21, 57, 158, 203–205, 207,  
     307, 371, 405, 424  
 Pickering, Edward Charles, 4  
 Pilcher, Percy Sinclair, 419  
 Planck, Max, 18, 162, 163, 337–340, 378,  
     400  
 Poincaré, Antoni, 282  
 Poincaré, François, xvii  
 Poincaré, Jeanne, 374  
 Poincaré, Léon, 46

- Poincaré, Lucien, 281–283  
Poincaré, Raymond, 216, 282  
Poinsoot, Louis, 119  
Poisson, Siméon-Denis, 32, 287, 318  
Potier, Alfred, xv, 9, 14, 15, 17, 18, 59,  
104, 105, 107, 108, 111, 113,  
117, 122–125, 207, 246, 249,  
280, 285–287, 289, 291–295,  
299–302, 305–311, 313–316,  
401  
Poulain d’Andecy, Louise, viii, 12, 283  
Poynting, John Henry, 42, 99, 112, 253,  
370  
Prentis, Jeffrey J., 163  
Preston, Thomas, 401  
Pricha, Willibald, 204  
Puiseux, Victor, 379  
Pyenson, Lewis, 18, 267
- Quincke, Georg, 289, 409
- Radau, Monika, xvii  
Radau, Rodolphe, 405  
Rågstedt, Mikael, xvii  
Rankine, William, 4, 347, 387  
Raveau, Camille, 317–319  
Rayleigh, *voir* Strutt, John William  
Rebuschi, Manuel, xvii  
Regnault, Victor, 261, 352  
Reingold, Nathan, 267  
Renard, Charles, 419  
Reusch, Friedrich Eduard von, 64  
Ribot, Théodule, 101, 216, 217  
Ricci-Curbastro, Gregorio, 246  
Righi, Augusto, 110, 131, 249, 275, 401,  
408–410, 442  
Ritz, Walter, 162, 375–378  
Robert, capitaine, 244  
Robotti, Nadia, 381  
Rocke, Alan J., 379  
Rollet, Laurent, xvii, 63, 82, 101, 216,  
236, 368  
Romefors, Maria Asp, xvii
- Röntgen, Wilhelm Conrad, xvii, 9, 23,  
67, 68, 110, 172, 215, 309, 320,  
321, 400, 418  
Roosevelt, Theodore, 208  
Roseveare, N.T., 114  
Rosmorduc, Jean, 36  
Rothé, Edmond, 76  
Rouvier, Catherine, 216  
Roux, Émile, 283  
Rowe, David, 316  
Rowland, Henry, 1, 36, 51, 53, 109–113,  
120, 122, 126, 213, 277, 286,  
296, 305, 308, 309, 381, 394–  
398  
Rubens, Heinrich, 36, 68, 70, 73, 174,  
338–340  
Rutherford, Ernest, xi, 338–340, 435
- Sacerdote, Paul, 318  
Sagnac, Georges, 62, 64, 70, 254, 272,  
273, 322–324, 326–328  
Sagnac, Philippe, 323  
Saint-Venant, Adhémar Barré de, 83, 85  
Sanderson, J. Burdon, 360  
Sandoz, Albert, 403  
Sarasin, Édouard, 21, 26, 38, 41, 173–  
175, 185, 191–193, 196, 201,  
202, 209, 211, 329–336, 388,  
389, 401, 415, 424, 435  
Sarrau, Émile, 131, 229, 384, 387, 400  
Scheutzel, Petra, 320  
Schuster, Arthur, 214, 338, 339  
Schwalbe, B., 271  
Schwarzschild, Karl, 162  
Schwerer, Antoine, 244  
Sedgwick, A., 360  
Seliger, Howard H., 321  
Seth, Suman, 254  
Shakespeare, William, 385  
Shinn, Terry, xvi  
Siegel, Daniel M., 362  
Siegel, Jane, xvii  
Silva, Giovanni, 250  
Sivadjian, Joseph, 112

- Smith, Crosbie, 345, 353, 362  
 Solais, Marinette, 164  
 Solla Price, D.J. de, 36  
 Solvay, Alfred, 337  
 Solvay, Ernest, 337, 338, 340  
 Sommerfeld, Arnold, 31, 198, 203, 338–344, 415, 422, 432  
 Somzée, 401  
 Soret, Charles, 211  
 Soret, Louis, 329  
 Speziali, Pierre, 209, 329  
 Staley, Richard, xvii, 267  
 Stark, Johannes, 162  
 Stimpert, James, xvii  
 Stokes, George Gabriel, 213, 265, 304  
 Störmer, Carl, 25  
 Stratton, Samuel Wesley, 267  
 Strom, John, xvii  
 Strutt, John William, 166, 207, 260, 339, 342, 360  
 Sturm, Charles, 352  
 Sutherland, William, 113, 139  
 Sweetnam, George, 113  
 Taine, Hippolyte, 229  
 Tait, Peter Guthrie, 345–348, 350–352, 355, 357, 384, 388, 417  
 Tannery, Jules, 101  
 Tannery, Paul, 101  
 Tazzioli, Rossana, 246  
 Tennyson, Alfred, 209  
 Terrat-Branly, Jeanne, 92  
 Thompson, Silvanus P., 353  
 Thomson, James, 359, 387  
 Thomson, Joseph John, xi, 109, 195, 207, 252, 321, 338, 339  
 Thomson, William, 4, 8, 73, 134, 185, 231, 278, 321, 345, 349, 350, 352, 353, 355, 357, 360, 364, 369, 387, 415, 422, 433  
 Thorpe, T.E., 360  
 Thuillier, Pierre, 36  
 Tilden, William A., 360  
 Trouton, Frederick T., 196  
 Trouvé, 401  
 Turpain, Albert, 172–174, 176, 177, 179, 308  
 Tyndall, John, 345  
 van't Hoff, Jacobus Henricus, 3  
 Van der Waals, Johannes Diderik, 260, 339, 381, 387, 436  
 Van Tieghem, Philippe, 19  
 Vasilescu-Karpen, N., 111  
 Vélain, Charles, 436  
 Venable, William Henry, 80  
 Verdet, Émile, 107, 261  
 Verneuil, Auguste, 13  
 Vieille, Paul, 58, 188, 234–240, 242–244, 424  
 Villard, Paul, 274, 424  
 Violle, Jules, 366, 400, 405, 424  
 Virtz, Lucien, 74, 81  
 Voigt, Woldemar, 162, 291, 341  
 Voisin, Gabriel, 46, 65, 67, 142, 145, 186, 280, 288, 290, 300, 402, 419  
 Volpe, Tony, xvii  
 Volterra, Vito, 114, 363, 367–374, 417, 428, 429, 441, 442  
 Waitz, Karl, 173  
 Wallenborn, Grégoire, 339  
 Wallerant, Frédéric, 151  
 Walter, Scott, xi, 259, 380  
 Warburg, Emil, 338–340  
 Warwick, Andrew, 213, 381  
 Weart, Spencer, 36  
 Weber, Wilhelm, 109, 291  
 Weierstrass, Karl, 198, 356  
 Weiss, Pierre, ix, 17, 375–378, 424, 426  
 Wheaton, Bruce, 321, 322  
 Wheeler, John, 323  
 Wheeler, Lynde Phelps, 166  
 Whittaker, Edmund Taylor, 49, 83, 110, 113, 185, 204, 292, 319, 320, 368, 374, 401  
 Wiechert, Emil, 252, 254  
 Wiedemann, Eilhard, 159

- 
- Wiedemann, Gustav, 27, 159, 184, 203, 273  
Wien, Wilhelm, 254, 338–341, 344  
Wiener, Otto, 107, 108, 285, 289, 292  
Willotte, Henri, 89  
Wilson, Harold Albert, 4, 110, 111, 119–121  
Wimshurst, James, 80  
Wise, M. Norton, 345, 353, 362  
Wolf, Charles, 405  
Wood, R.W., 76, 113  
Wright, Orville, 419  
Wright, Wilbur, 419  
Wurtz, Charles Adolphe, 379  
Yavetz, Ido, 313  
Yeang, Chen-Pang, 342  
Zahar, Élie, 258  
Zahn, H., 72  
Zeeman, Pieter, xvii, 174, 251, 260, 381, 382, 401, 427  
Zehnder, Ludwig, 23, 196, 389  
Zenneck, Jonathon, 114  
Zeuthen, Heironymous Georg, 6, 391

## Index rerum

- académie  
 allemande des sciences Leopoldina, 159  
 de Genève, 209, 329  
 des Lincei, xix, 246, 367  
 des sciences d'Amsterdam, 327, 381, 382  
 française, 150, 282, 420, 430  
 hongroise des sciences, 82  
 impériale des sciences de Saint-Petersbourg, 272  
 royale des sciences de Turin, 202, 372  
 royale suédoise des sciences, xvii, 3, 9
- actino-électriques, phénomènes, 229
- Adams, prix, 213
- aérage des mines, 106
- âge de la terre, 353
- aimantation, 11, 157, 158, 375
- antennes, théorie des, 31–35
- Arrhenius, démon d', 5
- association française pour l'avancement des sciences, 12, 33, 164
- atomes vortex, 345
- aurores boréales, 21, 24, 25
- automorphes, fonctions, x, 314, 316, 380
- Bäcklund, transformations de, 6
- balance quadrifilaire, 136, 139
- Belfast Academical Institution, R., 213
- Bessel, fonctions de, 342
- Bolyai, prix, 82
- Branly, effet, 92
- Bressa, prix, 202
- British Association for the Advancement of Science, 121, 125, 135, 214
- bureau central météorologique, 262
- bureau des longitudes, xv, 107, 262, 420
- bureau international des poids et mesures, 170
- calcul graphique, 156
- calcul infinitésimal, 153
- candidature de Poincaré  
 à la section de géométrie, 283  
 au poste de secrétaire perpétuel, 19, 236, 366
- capacité électrique du corps humain, 263
- Carnegie, institut, xvii, 1, 2, 111, 278
- Case school of applied science, 265
- Cavendish, expérience de, 113, 148
- chaleur, équivalent mécanique de la, 1
- cinétique, théorie, 203, 339, 348, 390, 413–415, 420, 422, 429, 433, 440
- cohéreur, 32, 33, 80, 92, 93, 394, 403, 409
- Collège de France, xii, xvi, 94, 111, 207, 208, 210, 216, 218, 234, 261, 265, 401, 403, 436
- Collège Rollin, 58, 92, 198, 274
- Collège Stanislas, 157
- comètes, 171
- commutation, théorie de la, 416
- congrès  
 de physique, 263, 416, 423, 434  
 des électriciens italiens, 370, 372  
 des mathématiciens, 367, 372–374  
 international de bibliographie des sciences mathématiques, 368
- conservatoire national des arts et métiers, xv, 9, 279, 317, 366
- constante diélectrique, 42, 44–46, 176, 287, 289
- convection électrique, 277
- courant  
 de conduction, 45, 122, 127–129, 132, 186, 248, 286, 297–300, 304, 307, 309, 310, 312, 394, 396  
 de convection, 121, 122, 126–129,

- 132, 247, 286, 298, 303, 304,  
308, 309, 311, 394–396  
de déplacement, 48, 50, 51, 53, 185,  
295, 305, 307, 311, 312  
de Röntgen, 309, 320  
Crémieu, expériences de, 249  
cristaux liquides, 427  
Crookes, tube de, 54, 56, 57, 82  
Curie, principe de, 61
- désaimantation, 10, 11  
diffraction, 31, 165, 198, 199, 322, 341,  
342, 398, 409, 413–415, 420–  
422, 424, 431–433  
dispersion, 63, 65, 69, 83, 157, 158, 176,  
181, 226, 238, 241, 275, 291,  
321, 383, 384, 398  
Dulong et Petit, loi de, 338
- Éclairage électrique*, xii, xiii, 33, 111,  
117, 173, 272, 295, 299, 300,  
313, 370, 372, 382, 414
- école  
d'aéronautique, 172  
des mines de Clausthal, 341  
des mines de Paris, 106  
des ponts et chaussées, 9, 29, 31,  
153, 156, 164, 282  
militaire Paul, 272  
polytechnique de Paris, xi, xvi, xxii,  
9, 12, 17, 29, 31, 34, 58, 59,  
89, 103–108, 111, 153, 164,  
170, 234, 243, 244, 262, 263,  
279, 282, 285, 306, 320, 329,  
370, 375, 378, 427, 436  
polytechnique fédérale de Zurich,  
170, 320, 375, 378, 427  
supérieure de physique et de chi-  
mie industrielle, xix, 106, 164,  
207, 208, 234
- Eiffel, tour, 262  
élasticité, théorie de l', 88, 203, 292, 412,  
413, 420, 421
- électrodynamique des corps en mouve-  
ment, 18, 105, 309, 398, 401
- électron  
dynamique de l', x, xvi, 18, 49, 52,  
112, 169, 213, 252, 254, 259,  
286, 308, 381, 382, 399–401,  
410, 414, 416, 420, 422, 430,  
433, 439  
masse de l', 416, 422, 433  
positif, 425, 439
- électrostatique, 17, 32, 48, 60, 82, 98,  
130, 186, 210, 211, 299, 306,  
396, 397
- Encyclopédie des sciences mathématiques,  
208, 314
- Encyklopädie der mathematische Wissen-  
schaften, 162, 207, 316
- espace-temps, x, 206, 208
- éter, x, 6, 7, 49, 53, 83, 86, 89, 91, 107,  
158, 203, 230, 251–254, 256,  
285, 288, 289, 291, 292, 308,  
322, 327, 328, 352, 362, 384,  
399, 437–440
- expérience cruciale, 107
- exposition internationale  
de Paris, 368  
de Saint Louis (1904), 366, 416
- faculté de médecine de Paris, 13, 34, 36,  
38, 92, 164, 379, 403
- faculté des sciences  
de Bordeaux, 174  
de Clermont-Ferrand, 58  
de Grenoble, 366  
de Lille, 157, 369  
de Lyon, 328, 375  
de Marseille, 279, 280  
de Nancy, xvii, 57, 76, 77, 82, 94,  
100  
de Rennes, 157, 375
- faculté des sciences  
de Paris, *voir* univ. de la Sorbonne
- Faraday, effet, *voir* polarisation rotatoire



- figures d'équilibre d'une masse fluide en rotation, 423, 434
- Fizeau, expérience de, 322, 398
- force
- électrique, 42, 43, 45, 54–56, 94, 96, 99, 181, 185, 193, 296, 298, 327, 393, 394
  - de Liénard, 254, 256
  - électromotrice, 35, 42, 48, 50, 187, 211, 287, 297, 346, 387
  - magnétique, 42, 99, 193, 247, 248, 275, 295, 299, 310, 311, 319, 324, 325
- Fourier, séries de, 265
- Fresnel, théorie de, 108, 293, 415, 421, 431, 437
- fuchsiennes, fonctions, *voir* automorphes, fonctions
- Galilée, formule de, 156
- Geissler, tube de, 191
- Gibbs, phénomène de, 267
- globes holophanes, 31
- glycol, synthèse du, 379
- Grand prix des sciences mathématiques, 202, 261, 369, 379, 380
- gravitation,  $x$ , 4, 8, 112, 135, 203, 390, 429, 432
- grisou, accidents de, 235
- Hall, effet de, 410
- Hébert, prix, 282
- Helmholtz, théorie de, 174, 308
- Helmholtz–Duhem, théorie de, *voir* Helmholtz, théorie de
- Högskola de Stockholm, 3, 26, 391
- horloges, synchronisation des, 308
- Houllévigie, prix, 92
- hypothèses cosmogoniques, 232
- induction unipolaire, 272, 300, 317, 324, 390, 416, 423, 433
- infinitude de l'espace, 4
- Institut de France, xvii, 111, 112, 400, 406, 407, 419, 434, 436, 437
- Institut Pasteur, 284
- instruction féminine, 402
- intégrales asymptotes, 84, 85
- interférence, théorie de l', 157, 158
- interférométrie, 254
- invar, 170
- ionisation, 56, 57, 61
- Joule, loi de, 98
- Kerr, effet de, 181, 264
- King's College, 120
- laboratoire
- Cavendish, 120, 207
  - d'essais du CNAM, 279
  - de l'institut technique Galileo Galilei, 367
  - de physique biologique au Collège de France, 401
  - de physique de l'école poly. féd. de Zurich, 427
  - de physique de l'univ. de Leyde, 382
  - de physique de Saint-Petersbourg, 272
  - de physique, TH Karlsruhe, 187
- La Caze, prix, 183
- Lamé, coefficients d'élasticité de, 88, 95, 288, 289, 293, 384
- Le Bon, société des amis de G., 216, 219, 220, 228, 232, 233
- Le Bon et Ribot, banquets de, 101, 216–219, 228, 232
- Le Conte, prix, 19, 70, 377
- lecture des pensées, 361
- Legendre, polynômes de, 7
- légion d'honneur, 63, 274
- ligue des droits de l'homme, 208
- Lorentz, transformation de, 213, 328, 429
- Lorentz-FitzGerald, contraction de, 213
- lumière
- aberration de la, 253, 254, 286, 398, 399, 437, 438
  - infrarouge, 80, 171, 215, 221, 227

- noire, 215, 220, 229, 233  
 théorie élastique de la, 91  
 théorie mathématique de la, 157, 159, 412, 414, 421, 432
- luminescence, 9, 71, 226
- lunette zénithonadmirale, 165
- machine thermique, 5
- magnétisme induit, 319
- magnétisme terrestre, 21, 245
- magnéto-optiques, phénomènes, 381, 426
- magnétofriction, 274, 276
- Maison Blanche, 208
- Maison de la Légion d'honneur, 274
- Massachusetts Institute of Technology, 267, 277
- Massieu, fonctions caractéristiques de, 387
- Maxwell  
 théorie de, x, 42, 45, 50, 51, 93, 172, 186, 210, 246, 251, 256, 272, 285, 287, 300, 320, 341, 352, 398, 409, 437
- Maxwell, équations de, *voir* Maxwell, théorie de
- mécanique  
 ancienne, 439  
 de Hertz, 183  
 nouvelle, 439  
 rationnelle, 57, 100, 241, 246, 367, 369, 388, 390, 391
- mort calorifique de l'univers, 3, 4
- mouvement d'un train, loi du, 29
- musée Teyler, 251
- muséum d'histoire naturelle, 9, 12, 17, 80, 270, 375, 426
- Nachet, ateliers, 401
- National Bureau of Standards, 267
- Nautical Almanac, 265
- Neumann, loi de, 35, 289
- Nobel, prix, xi, xxii, 3, 9, 149–152, 170, 233, 251, 252, 260, 265, 270, 320, 321, 342, 367, 381, 382, 398, 400, 401, 403, 405–408, 410–413, 416, 418–420, 424, 427–430, 434–438, 440–442
- nutration de la terre, 353, 363
- observatoire  
 de Meudon, 279  
 de Paris, 306  
 du Puy-de-Dôme, 58
- Ohm, loi de, 18, 117
- ondes  
 électromagnétiques, 21, 23, 31–33, 35, 36, 38, 41, 43, 46, 47, 76, 79, 80, 92, 172, 174, 183, 198, 207, 209, 322, 342, 408, 414–416, 420, 422, 428, 429, 432  
 propagation des, 38, 41, 43, 45–47, 95, 99, 172, 174, 176, 177, 194, 322, 327, 330, 335  
 réflexion des, 98  
 liquides, 88  
 stationnaires, 23, 191, 330, 331
- orbites chaotiques, 198, 199
- PCN, 151, 282
- Peltier, effet, 349
- photographie, 4, 18, 19, 46, 67–69, 71, 74, 76–82, 215, 218, 221, 222, 224–226, 285, 335, 404, 406, 411, 412
- Physikalische-Technische Reichsanstalt, 71
- Planck, loi de, 163, 337
- plus lourd que l'air, problème du, 418, 419
- polarisation des diélectriques, 120
- polarisation rotatoire, 14, 83, 329, 398
- poudrerie nationale de Sevran-Livry, 243
- poudres de guerre, commission des, 234, 235
- Presidency College, 403
- pression  
 électrostatique, 130, 210, 211  
 de Maxwell, 253

- de Poincaré, 430  
 de radiation, 4  
 principe de réaction, 51, 53, 103, 253,  
 414, 417, 420  
  
 quanta, 162, 163, 252, 337  
 quaternions, 345  
 Queen's College Belfast, 345  
 Queen's College Galway, 213  
  
 radioactivité, 9, 152, 159, 215, 404, 405,  
 410  
 Rayleigh, formule de, 339  
 rayonnement, théorie du, 162, 337  
 rayons  
   actiniques, 226  
   Becquerel, 230, 404  
   Broca, 25  
   caloriques, 383  
   cathodiques, 9, 24, 25, 61, 62, 66,  
     82, 228, 259, 263, 274, 275,  
     321, 405, 416, 421, 423, 426,  
     429, 433, 437  
    $\delta$ , 62  
   Le Bon, 215  
   magnéto-cathodiques, 25, 274  
   N, 36, 61, 67–71, 73, 74, 76–80,  
     82, 172, 231, 233, 314, 322,  
     408  
   Röntgen, 67, 68, 321  
   S, 62–64  
   secondaires, 66, 322, 404  
   T, 62  
   ultraviolets, 9, 79, 219, 226  
   X, 9, 36, 54–57, 59, 61–65, 70, 171,  
     172, 215, 263, 320–322, 328,  
     404, 410, 416, 423, 434  
     polarisation des, 61–65  
 relativité, théorie de la, 162, 203, 209,  
 252, 254, 417, 429, 438, 439  
 répertoire bibliographique des sciences  
   mathématiques, 271, 368  
 résonance multiple, 26, 38, 174, 179, 191,  
 196, 202, 329–332, 334, 388,  
 415, 422  
 Rowland, effet, 1, 110, 112, 285  
 Ruhmkorff, bobine de, 56, 192  
 Rumford, médaille, 107  
  
 Sagnac, effet, 323  
 schneiderite, 235  
 socialisme, 219, 227  
 société  
   allemande de physique, 68, 205  
   française de physique, xi, xii, 2, 58,  
     94, 104, 106, 111, 113, 137,  
     164, 165, 170, 256, 278, 294,  
     306, 323, 378, 401, 403, 427  
   helvétique des sciences naturelles,  
     135, 336  
   hollandaise des sciences, 251  
   industrielle de Mulhouse, 171  
   italienne pour le progrès des sciences,  
     367  
   mathématique de France, xii, xiv,  
     104, 164, 368  
   mathématique de Londres, 213  
   royale de Londres, xvii, 214, 311,  
     271, 352, 360, 379  
   suisse de physique, 377  
 Solvay, conseil, 149, 162, 208, 251, 337,  
 340, 344, 378  
 St. John's College, 213, 321  
 substances explosives, commission des,  
 234, 237, 239, 242, 244  
 Sylvestre, médaille, 311  
  
 takitechnique, 153  
 technische Hochschule  
   Aachen, 341  
   Braunschweig, 316  
   Brünn, 82  
   Dresden, 183  
   Karlsruhe, 183  
   München, 183  
   Wien, 162  
 télégraphie sans fil, 33, 92, 169, 262, 341,  
 410, 422, 433, 435

- télégraphistes, équation des, x, 413, 415,  
416, 420, 422, 433
- téléphonie, 169
- temps local, 251, 308, 401
- thermoélectricité, 18
- thermodynamique, 4, 8, 157–159, 166,  
202, 234, 256, 317, 318, 345,  
346, 353, 384, 412, 414, 416,  
417, 420, 421, 423, 429, 432,  
434
- Thomson, effet, 346, 349, 387
- tourbillons, 97, 98, 352, 412, 416, 420
- trois corps, problème des, x, 168, 197,  
318, 352, 355
- union rationaliste, 208
- United States Naval Academy, 265
- université
- allemande de Prague, 375
  - catholique de Paris, 92
  - Clark, 265
  - d'Oxford, 267
  - d'Utrecht, 320
  - de Berlin, 183, 374
  - de Bonn, 18, 26, 183, 187
  - de Breslau, 79
  - de Cambridge, xi, xvii, xix, 110, 207,  
213, 214, 265, 269, 321, 341,  
345, 352, 354, 355, 358, 360,  
362–365, 385
  - de Chicago, 427
  - de Copenhague, 6
  - de Genève, 211, 329
  - de Giessen, 320, 379
  - de Göttingen, 162, 206–208, 375
  - de Kiel, 183
  - de Kristiania, 21, 25, 26, 392
  - de la Sorbonne, xi, xv, 68, 101, 104,  
109–111, 113, 139, 149, 151,  
152, 157, 203, 207, 209, 219,  
234, 237, 274, 275, 279, 282,  
307, 318, 322, 328, 341, 362,  
366, 367, 375, 379, 384, 398,  
406, 413, 420
  - de Leyde, 162, 375, 381
  - de Lund, 6, 391
  - de Munich, 203, 320, 341, 342
  - de Pennsylvania, 277
  - de Pise, 367, 370
  - de Rome, 367, 429
  - de Stockholm, 26, 388, 390, 435
  - de Strasbourg, 285, 320
  - de Turin, 367
  - de Würzburg, 320
  - de Zurich, 320, 375
  - Harvard, 5, 168, 267
  - Johns Hopkins, xvii, xix, 1, 2, 111,  
113, 277, 278, 364, 365, 416
  - Western Reserve, 265
  - Yale, 167
  - Yale, xvii, 166
- uranium, 9, 17, 152, 404, 405, 423, 434
- Vaillant, prix, 203, 377
- valence, 379
- vibrations, amortissement des, 26, 27, 40,  
98, 99, 191, 202, 280, 281, 389,  
415, 422, 433
- voie lactée, 4
- Volta, centenaire de, 370
- Wheatstone, pont de, 23, 174
- Wiener, expérience de, 107, 108, 285,  
289, 292
- Wimshurst, machine de, 114
- Wolfskehl, commission, 342, 377
- Woolwich, Royal Military Academy of,  
239, 391
- Wurtz, réaction de, 379
- Zeeman, effet, 16, 251, 381, 382, 401,  
414, 421, 424, 425, 427, 438