

PHILOSOPHIA SCIENTIÆ

ETIENNE BOLMONT

La correspondance Poincaré-Hertz

Philosophia Scientiæ, tome 1, n° 1 (1996), p. 21-62

http://www.numdam.org/item?id=PHSC_1996__1_1_21_0

© Éditions Kimé, 1996, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « *Philosophia Scientiæ* » (<http://poincare.univ-nancy2.fr/PhilosophiaScientiae/>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

La correspondance Poincaré - Hertz

Etienne Bolmont

ACERHP

Résumé. – Cet échange a lieu entre août 1890 et décembre 1892. Il porte essentiellement sur les problèmes de l'électromagnétisme, liés à la diffusion des expériences de Hertz qui semblent donner à la théorie de Maxwell la justification expérimentale qu'elle attendait depuis une vingtaine d'années.

Poincaré est amené à prendre contact avec Hertz dans le cadre de la mise au point de ses cours à la Sorbonne. Découvrant une erreur dans les écrits du savant allemand, il en trouve ainsi l'occasion. La correspondance se fait donc dans un contexte polémique mais cet aspect ne se manifeste pas entre Poincaré et Hertz mais plutôt autour d'eux.

Le problème de la résonance multiple qu'ont soulevé les Genèveois Sarasin et de la Rive, amplifié par Cornu à l'Académie des Sciences de Paris montre que la diffusion des idées de Hertz ne se fit pas aussi facilement qu'on pourrait le croire. Cette diffusion était également freinée par la difficulté de la reproduction des expériences, ce que Brillouin avait bien souligné et ce à quoi Hertz lui-même s'est trouvé confronté.

Les orientations scientifiques de Hertz et Poincaré apparaissent aussi, notamment chez Poincaré qui se montre le digne représentant d'une 'physique mathématique, guidée par la théorie malgré la pertinence de ses discussions sur les expériences alors que Hertz apparaît à la fois comme expérimentateur et théoricien, cependant habité par le doute, signe fort de son esprit scientifique.

Les 15 lettres ne sont pas présentées ici dans leur intégralité mais seulement par des extraits significatifs. Elles seront éditées par les Archives Henri Poincaré dans le courant de l'année 1997.

Nous remercions M. Wilhelm Füßl, Directeur des «Sondersammlungen» du Deutsches Museum, Munich, de bien avoir voulu nous donner la permission d'éditer les lettres de Poincaré à Hertz.

I. Introduction

A. Contexte historique

La correspondance entre Heinrich Hertz et Henri Poincaré s'étale sur une période d'environ dix-huit mois, du mois de juillet 1890 à la fin de l'année 1891. Elle consiste en un ensemble de quinze lettres, six de Poincaré à Hertz et neuf de Hertz à Poincaré. Treize lettres ont été écrites dans les six premiers mois de la période indiquée et correspondent à un réel échange scientifique entre les deux savants.

A cette époque, Hertz est au sommet de la gloire. Né à Hambourg, en 1857, il est alors âgé de 33 ans mais il ne lui reste que trois ans à vivre. La communauté scientifique connaît ses travaux expérimentaux et théoriques sur l'électromagnétisme qui apportent à l'œuvre de Maxwell les preuves qui lui manquaient jusque là. Son œuvre est reconnue officiellement par de nombreux prix scientifiques, le prix La Caze par exemple qui lui fut décerné par

l'Académie des Sciences de Paris à la fin de l'année 1889.

Poincaré a 36 ans. Il est lui aussi reconnu, pour ses travaux en mathématiques mais aussi en physique, notamment en mécanique. Il est alors membre de l'Académie des Sciences dans la section géométrie et professeur de physique mathématique à la Sorbonne.

L'essentiel de la correspondance se situe dans le cadre des derniers développements de l'électromagnétisme. Même si l'essentiel des travaux de Hertz est terminé depuis l'année 1888, son œuvre reste en discussion dans l'ensemble de l'Europe, ce qui se traduit en cette année 1890 par de nombreuses communications aux sociétés scientifiques. Poincaré est quant à lui en train de mettre au point et de publier ses cours d'électromagnétisme et cherche des précisions dans cette perspective : il fera paraître le premier tome de *Electricité et optique* au cours de l'année 1890 puis, en 1892, le deuxième tome dans lequel il présente les travaux de Hertz. Cet ouvrage présente ainsi un rapport étroit avec le contenu des lettres. Poincaré établit une correspondance importante sur le même sujet avec de nombreux savants, notamment avec René Blondlot à Nancy et Édouard Sarasin et Lucien de la Rive à Genève dont il citera les contributions. La deuxième édition qui paraîtra en 1901 contient en plus les leçons de 1899 qui portent sur l'électrodynamique des corps en mouvement. L'analyse détaillée des expériences est décrite dans *Les oscillations électriques* (1894).

Il n'existe pas de rapport de hiérarchie entre Hertz et Poincaré, et nous pouvons constater une répartition semblable des questions et des réponses. Cependant, Hertz interroge davantage Poincaré sur des explications théoriques alors que Poincaré attend des éclaircissements sur les réalisations expérimentales, ce qui correspondrait aux images que nous avons des deux savants, Hertz expérimentateur et Poincaré théoricien. Il semble que nous trouvons là une coupure caractéristique entre physique expérimentale et physique mathématique. Hertz lui-même est cependant également considéré comme un physicien mathématicien et la lecture de ses ouvrages le confirme fortement.

Il ne faudrait pourtant pas ranger Poincaré dans le camp d'une physique mathématique dure, exclusive. Certes, l'enseignement qu'il a reçu à l'École polytechnique dans les cours de physique expérimentale ne comporte aucune initiation à l'expérimentation, aucune manipulation faite par les élèves. On décèle néanmoins dans la correspondance à une exception près, une faculté à discuter des dispositifs expérimentaux, à s'interroger sur des facteurs, à proposer des directions de manipulation. L'exception tient dans le fait que Poincaré, dans sa première lettre ne remet pas en cause les conditions expérimentales et ne s'intéresse qu'à l'aspect théorique. On constate

une évolution dans les lettres certainement sous l'influence de Hertz, qui montre par là ses qualités d'expérimentateur. Dans l'ensemble, ceci nuance le propos de certains historiens des sciences envers Poincaré qui leur apparaît comme un théoricien n'ayant jamais expérimenté. Ceci est vrai, mais cela n'exclut pas le contact de Poincaré avec l'expérience, de façon indirecte, par l'entremise de savants comme Blondlot notamment. Dans ce sens, il formulera plus tard une exigence dans la formation des polytechniciens dans laquelle il demande à habituer les futurs ingénieurs à ne pas rester dans l'abstraction.

La théorie de Maxwell fut transformée par Hertz : il en élimina certains aspects physiques qui compliquaient sans nécessité le formalisme et affirma que la théorie de Maxwell consistait simplement dans le système des équations de Maxwell.

Cette époque marque la fin des théories fondées sur une action instantanée à distance (théories de Weber, Neumann puis de Helmholtz), et le début de l'adoption générale des théories du champ à la façon de Maxwell, avec une vitesse de propagation finie, égale à celle de la lumière. C'est un changement de paradigme.

Cependant, comme le souligne Jerzy Giedymin, les expériences de Hertz ne permettent pas de décider entre la théorie de Helmholtz d'une action à distance et celle de Maxwell, du champ électromagnétique. Il se place dans le cadre de la philosophie conventionnaliste de la physique :

«A physical theory is a family of observationally equivalent theories which share the same mathematical structure (or: whose mathematical structures are equivalent) and which differ with respect to experimentally indistinguishable ontologies.» [Giedymin, 1991, p. 15]

La théorie de Helmholtz, fondée sur l'hypothèse d'une action à distance, est une théorie qui unifie celles de Weber, Neumann et qui englobe la théorie de Faraday-Maxwell (en retenant comme hypothèse dans ce dernier cas : les actions électromagnétiques sont *ralenties par action du diélectrique* et se propagent sous forme d'onde à la vitesse de la lumière). Les trois théories conduisent alors aux mêmes résultats expérimentaux ; elles sont indiscernables par l'expérience. Pour Giedymin, il existe donc des conventions non confirmables : elles conduisent à des théories équivalentes au niveau observationnel, qui expliquent les mêmes résultats expérimentaux mais qui sont contradictoires au niveau des hypothèses qui les fondent. Poincaré refuse donc l'empirisme physique qui impose une théorie unique déduite des expériences et construite par induction. Giedymin accorde les conceptions de Hertz et Poincaré en

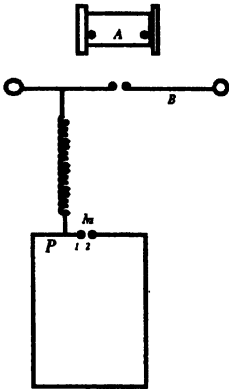
définissant une théorie physique : son contenu est déterminé à la fois par les conséquences observationnelles et par la structure mathématique qui implique les relations entre tous les termes de la théorie.

B. Les dispositifs expérimentaux de Hertz

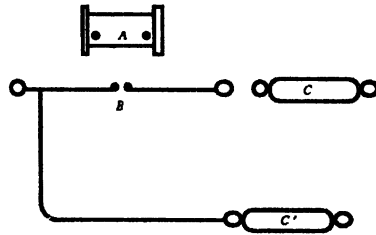
1. Premières expériences

Hertz utilise dans toutes ses expériences des dispositifs de principe identique :

- Un *excitateur* qui produit les oscillations électriques par génération d'une étincelle (primaire).
- Un *résonateur* qui permet de mettre en évidence leur réception également par une étincelle (secondaire).



Première méthode



Deuxième méthode

A l'excitateur, une bobine de Ruhmkorff permet la charge de deux sphères. Au micromètre apparaît une force contre-électromotrice qui s'oppose au retour à l'équilibre. Quand la tension entre les deux extrémités du micromètre est suffisante, une étincelle y éclate. On peut considérer comme Bruhat le fait, «que l'éclatement de l'étincelle est équivalent à la fermeture rapide d'un interrupteur...» Ce dernier termine ainsi sa présentation du dispositif de Hertz :

«Le montage de Hertz est donc un moyen commode d'exciter les oscillations propres d'un conducteur.

En réalité, les oscillations sont rapidement amorties par suite de la résistance de l'étincelle et de l'énergie rayonnée. Il y a donc production d'un train d'ondes amorties ; puis l'espace cesse d'être

conducteur. Pendant ce laps de temps le générateur recharge lentement le condensateur. La tension continue entre les éclateurs remonte progressivement jusqu'au moment où un nouveau train d'ondes est émis et ainsi de suite.» [Bruhat 1963, p. 181]

Le but des montages est nettement orienté vers une détermination de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques. L'existence d'ondes stationnaires permet de déterminer expérimentalement la longueur d'onde et l'étude théorique de l'excitateur sa période. Connaissant la loi reliant période, longueur d'onde et vitesse ($\lambda = VT$), on arrive au résultat escompté.

Un résultat essentiel apparaît dès ces premières expériences : la propagation des ondes n'est pas instantanée, elle se fait à une vitesse finie, sinon il serait impossible d'expliquer la production de cette étincelle secondaire. Même si cette explication n'est pas complètement satisfaisante, c'est pour Hertz un grand pas qui est franchi ici en faveur de la théorie de Maxwell, comme par une expérience cruciale.

La très grande vitesse de propagation des ondes empêche toute mesure directe. Pour caractériser le système d'émission de l'excitateur, il faut passer par le calcul.

Comme le présente Boltzmann, le résonateur est un oeil pour les oscillations hertziennes. Son but est de permettre de détecter les ondes électromagnétiques émises par l'excitateur et de déterminer leur longueur d'onde par observation d'ondes stationnaires qui sont produites dans un premier temps par superposition des ondes transmises par l'air et celles transmises par le fil.

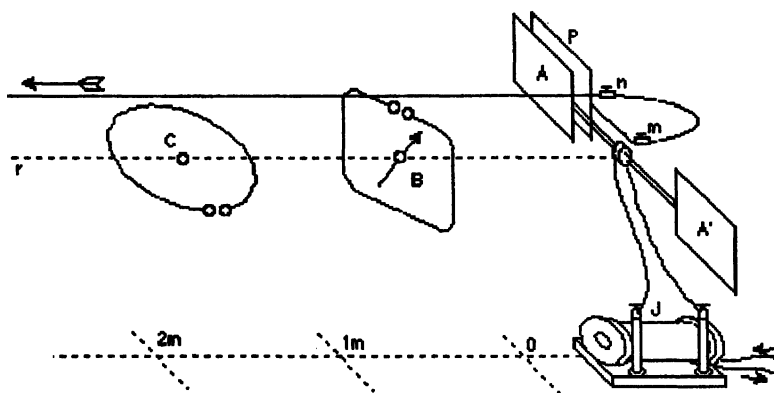
Les résonateurs se présentent sous différentes formes selon les expérimentateurs : les premiers utilisés par Hertz ont la forme d'un rectangle interrompu par un interrupteur à étincelle. On rencontre aussi des cercles et Blondlot construit un résonateur rectangulaire avec deux plateaux (pour accroître l'effet capacitif et faciliter le calcul de la capacité).



Les résonateurs utilisent l'effet d'induction pour détecter le champ rayonné par l'excitateur.

Les deux dispositifs apparaissent clairement dans ce croquis de

Hertz [Hertz, 1892a], avec les deux positions de ses résonateurs (B sensible au champ électrique et C au champ magnétique) :



Grâce à ses résonateurs, Hertz pourra montrer que le champ électrique et le champ magnétique sont perpendiculaires. De plus, dans le cas des ondes stationnaires, les ventres de l'un correspondent aux nœuds de l'autre.

Le premier dispositif de Hertz le conduisit au résultat d'une vitesse finie mais différente de celle de la lumière.

2. Expériences avec un miroir : 1888

a. Miroir plan :

Au début de l'année 1888, alors qu'il étudie la propagation de l'onde à grande distance, Hertz observe des phénomènes particuliers d'ombre derrière des conducteurs. Il a par ailleurs envisagé une action des murs dans les phénomènes observés. Ces considérations le conduisent à tenir compte de la possibilité de réflexions des ondes électromagnétiques, et à une superposition de ces ondes réfléchies avec les ondes incidentes, provoquant ainsi des phénomènes d'ondes stationnaires.

Ces expériences conduisent Hertz au résultat que la vitesse de propagation dans l'air est supérieure à la vitesse de propagation dans les fils.

b. Miroir courbe :

À l'automne 1888, Hertz découvre les ondes de longueur d'onde courte (30 cm), construit l'excitateur adéquat et utilise des miroirs concaves.

Les résultats de ces expériences permettent à Hertz de vérifier l'égalité des vitesses dans l'air et dans les fils et il parvient à réaliser

toutes celles que l'on peut conduire avec la lumière : propagation rectiligne, réflexion, polarisation et réfraction [Hertz 1888].

Le «rayon électrique» peut s'observer à des distances bien plus importantes, jusqu'à plus de 20 m, si on place le résonateur rectiligne au foyer d'un deuxième miroir cylindrique (cf : ci-dessous, p. 42).

Les expériences de polarisation caractérisent les vibrations électriques de l'onde électromagnétique qui sont parallèles au dispositif de l'excitateur, c'est à dire ici verticales. Il ne faut pas oublier les vibrations du champ magnétique qui se font alors dans le plan horizontal.

c. Conclusion

C'est dans cette dernière série d'expériences qu'apparaît la touche finale du travail de Hertz.

Sa conclusion rapproche alors les rayons électriques de rayons lumineux « à grande longueur d'oscillation ».

La reproduction avec les ondes hertziennes des principales expériences de l'optique dans les dernières expériences de Hertz et plus tard de la jonction des spectres infrarouge et électrique conduiront à ne plus considérer qu'un seul domaine, à admettre l'identité entre ondes électromagnétiques et ondes lumineuses.

On pourrait alors résumer l'ensemble des travaux de Hertz par les découvertes suivantes :

1- Il existe des ondes électromagnétiques qui se propagent dans les fils conducteurs et dans l'air.

2- Les vitesses de propagation sont sensiblement les mêmes dans les fils et dans l'air. Cette vitesse est finie et égale à celle de la lumière.

3- Ces rayons ont un comportement analogue aux rayons lumineux et on peut se diriger vers une unification des théories des ondes électromagnétiques et des ondes lumineuses.

Hertz conclut ainsi la présentation de ces travaux dans l'introduction de son ouvrage sur l'électromagnétisme :

«Die Absicht dieser Versuche war die Prüfung der Fundamentalthypothesen der Faraday-Maxwell'schen Theorie und das Ergebniss der Versuche ist die Bestätigung der Fundamentalthypothesen dieser Theorie.» [Hertz 1892a]

II. Les lettres

[He(1) : Poincaré à Hertz]

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. 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. 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.

Poincaré fait ici allusion à l'intervention en janvier 1890 de Cornu sur le problème de la résonance multiple. [Cornu 1890, p. 76. cf : ci-dessous, p. 37].

Il développe ensuite la justification de cette correction et on retrouvera ses arguments dans la note à l'Académie (Août 1890). Hertz n'a pas fait une erreur de calcul, mais une erreur de définition de la capacité de l'excitateur qu'il avait construit...

Il résulte de là que la longueur d'onde calculée doit être multipliée par $1/\sqrt{2}$ et que la comparaison du calcul avec l'observation fournirait pour la vitesse de propagation :

$$300000 \text{ Kilomètres } \times \sqrt{2}$$

Cela toute fois si le calcul est exact d'autre part et si l'influence des circonstances négligées est réellement négligeable.

Le résultat de Hertz est donc manifestement erroné. Poincaré demeure alors dans le cadre de la théorie de Maxwell et propose des hypothèses dans cette théorie :

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 doit 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...

Il en vient donc finalement à remettre en cause la théorie. Cette discussion montre que, pour lui, l'aspect théorique reste prédominant dans la validation des idées de Maxwell. Cette remise en cause à la suite d'un résultat expérimental défavorable est révélatrice de son caractère de théoricien, appliquant en sorte avant la lettre les idées de Popper (ici le falsificationisme naïf) pour lequel un résultat expérimental contradictoire remet en cause toute la théorie. Dans ce cadre épistémologique, la théorie précède bien l'observation et l'expérience. Le falsificationisme exige en outre que les hypothèses soient falsifiables ce qui est bien le cas pour celle qui préoccupe ici Hertz et Poincaré, à savoir :

La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques est identique à celle de la lumière.

Dans ces conditions, les premières expériences de Hertz conduiraient bien à infirmer l'hypothèse précédente et donc à rendre fausse la théorie !

Cependant, il faut replacer les travaux de Hertz à un niveau plus global dans la vérification de la théorie de Maxwell : Hertz la confirme dès qu'il détecte les premières ondes radio puis quand il montre que ces ondes se déplacent à vitesse finie. La suite, mise en évidence dans les premières lettres, est un échec. Mais vouloir sur cet échec faire tomber toute la théorie de Maxwell ne serait que mal analyser l'ensemble du problème posé : les théories falsificationnistes posent comme préacquis la validité de l'expérience, pour se concentrer uniquement sur la théorie. Hertz et Poincaré montrent ici les limites de ces considérations puisqu'ils remettent en cause à la fois la théorie mais aussi les conditions expérimentales. Selon Chalmers,

«Ce qui affaiblit le point de vue falsificationniste tient précisément au fait que les énoncés d'observation sont faillibles et que leur acceptation ne peut avoir lieu qu'à titre d'essai et qu'elle est sujette à révision. Les théories ne peuvent être falsifiées de façon convaincante parce que les énoncés d'observation qui forment la base de la falsification peuvent eux-mêmes se révéler faux à la lumière des développements ultérieurs... Il ne peut y avoir de

falsifications convaincantes en raison de l'absence de la base observationnelle parfaitement sûre dont elles dépendent.» [Chalmers 1987, p. 111]

[He(2) : Hertz à Poincaré]

Wahn près Bonn, le 21 Août 1890

(Mon adresse Bonn)

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 coeur 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 ... 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 oeil peu favorable tout le mémoire ou 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.

Ceci s'oppose à ce qu'affirme Alan Chalmers :

«La théorie testée avait pour conséquence que la vitesse des ondes radio doit être identique à celle de la lumière. Or, quand Hertz mesura la vitesse de ses ondes radio, il trouva à plusieurs reprises qu'elle différait de celle de la lumière. Il ne parvint jamais à résoudre cette énigme, dont la cause ne fut comprise qu'après sa mort. Les ondes radio émises par son appareil se réfléchissaient sur les murs de son laboratoire, revenaient vers son appareil et interféraient avec ses

mesures. Les dimensions du laboratoire étaient bel et bien un facteur essentiel.» [Ibid., p. 68]

Cette lettre nous dévoile aussi la différence entre Hertz et Poincaré dans l'analyse de ce mauvais résultat. Hertz considère également la théorie et l'expérience :

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.

Cette erreur est signalée par Hertz lui-même dans l'introduction des œuvres. Il n'en remet pas pour autant en cause la rédaction de son mémoire et affirme même :

«Hätte ich den richtigen Werth der Capacität benutzt und also einen Widerspruch der Rechnung mit den Versuchen gefunden, so würde ich der Rechnung die geringere Beachtung geschenkt haben, und die Arbeit wäre in der Form etwas verändert, in der Sache unverändert niedergeschrieben worden.» [Hertz, 1892a]

Cette attitude est bien éloignée de celle qu'il manifeste dans cette première réponse à Poincaré où il montre une grande humilité et des regrets qui frisent le découragement. Douter de l'honnêteté scientifique de Hertz peut nous paraître naturel si on envisage que l'erreur sur la capacité se trouve «par hasard» exactement compensée par la mesure de la longueur d'onde des ondes stationnaires dans une expérience perturbée par des interactions avec les murs. (Voir les résultats de Sarasin et de la Rive). Cependant, il semble qu'à l'époque des expériences, Hertz était davantage préoccupé par l'ordre de grandeur du résultat, soit une fréquence environ 100 fois plus grande que celle atteinte jusque là. Cette réflexion de Hertz nous montre aussi combien il était guidé par la théorie, au point d'occulter des résultats contradictoires.

[He(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'Electrooptique 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.

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.

Dans cette introduction, relative à la première édition d'*Electricité et optique*, Poincaré utilise quasiment les mêmes termes que dans la préface de son ouvrage. Elle montre aussi clairement sa façon de faire, avec la collaboration de ses élèves, ici Jules Blondin pour le second tome :

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 quant 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. 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 ?...

L'intérêt de cette lettre est de montrer combien les réflexions s'inspiraient des analogies.

L'analogie avec les ondes sonores était fréquente et Brillouin l'utilise beaucoup dans son article *Sur les expériences de M. Hertz* [1890]. Cette analogie pourrait correspondre à la notion d'hypothèse : la production, la propagation et la réception des ondes électromagnétiques ressemblent à la production, la propagation et la réception des ondes sonores. Cela permet de décrire qualitativement des phénomènes électromagnétiques par des images prises dans le domaine du son. Il faut certainement ne la voir que comme cette possibilité d'illustration de phénomènes invisibles par d'autres bien connus, perceptibles par les sens, dans un souci pédagogique, plutôt que de lui donner un sens plus étroit dans lequel elle devient alors un frein ou un obstacle au progrès scientifique. Dans son article, Brillouin présente sa conception du rôle de l'interrupteur à étincelles :

«La comparaison avec les phénomènes sonores me semble particulièrement convenable pour bien mettre en relief le genre de difficultés qu'on rencontre et le rôle de l'excitateur.» [Brillouin 1890, p. 141]

Cette comparaison est fréquente à l'époque car nous la retrouvons dans les paroles que Hertz prononce à la réunion des naturalistes et médecins allemands de Heidelberg en septembre 1889. Il y rappelle, pour illustrer ses découvertes sur les ondes électromagnétiques, les démonstrations qu'un physicien acousticien peut réaliser pour illustrer la propagation temporelle du son et déterminer sa vitesse, puis il ajoute :

«Nicht anders, sondern genau so verfahren wir mit unseren elektrischen Schwingungen. An die Stelle der Stimmgabel setzen wir den schwingenden Leiter. Anstatt des Resonators ergreifen wir unseren unterbrochenen Draht, den wir aber auch als elektrischen Resonator bezeichnen...» [Hertz, 1895]

L'analogie de Brillouin fait correspondre les différents éléments du dispositif de Hertz à ceux d'un système acoustique :

<u>Bobine d'induction</u>	<u>soufflets d'orgue</u>
<u>fil</u>	<u>tuyaux</u>
<u>interrupteur à étincelle</u>	<u>soupape</u>
<u>résonateur de Hertz</u>	<u>résonateur acoustique</u>

La soupape représente «l'interrupteur que doit franchir l'étincelle entre les deux parties de l'excitateur» et Brillouin ajoute :

«Il [Hertz] sait de plus reconnaître quand, en modifiant un peu la soupape, il en fait une anche – en d'autres termes, quand il a mis l'étincelle à l'unisson de l'excitateur tout entier. – Alors le mouvement périodique propre à l'excitateur devient particulièrement intense, et à peu près pur.» [Brillouin 1890, p. 141]

On retrouve également dans le texte de la conférence d'Heidelberg l'image de la vibration électrique obtenue dans l'oscillateur de Hertz :

«Auch im Gebiete der Akustik können wir mit klappernden Hölzern eine dürftige Musik erzeugen, wenn uns die gedehnten Töne der Pfeifen und Saiten versagt sind.» [Hertz, 1895]

L'analogie avec le son n'est utilisée que dans un souci pédagogique par Hertz alors qu'elle reste puissante aux yeux de Brillouin. Elle ne peut plus servir au progrès de la théorie des ondes électromagnétiques, car il existe une différence essentielle entre les ondes sonores qui sont longitudinales (la vibration se fait parallèlement à la propagation) et les ondes électromagnétiques qui sont transversales (le plan de vibration est perpendiculaire à la direction de la propagation). Cette différence conduira à maintes questions sur le rôle de l'éther dans la propagation des ondes.

L'analogie mécanique-électromagnétisme est souvent utilisée : elle soulève moins de critique et est encore actuellement employée dans la résolution de problèmes de mécanique. C'est une analogie de type mathématique, qui prend en compte la similitude des équations différentielles qui décrivent les phénomènes dans les deux domaines considérés. Ici, elle permet un traitement mathématique qui apparaît clairement dans la mise en place des équations différentielles décrivant les phénomènes à l'émission (à l'excitateur) ou à la réception (au résonateur). Poincaré a également souligné le rôle essentiel du langage. Ici, l'utilisation de l'analogie conduit à l'emploi d'un vocabulaire issu de la mécanique et appliqué à l'électromagnétisme : par exemple, l'emploi du terme «frottement» pour la résistance électrique. Il faut souligner que ces considérations ne doivent pas s'arrêter au vocabulaire et au traitement mathématique mais qu'elles ont une signification physique : l'exemple précédent implique une dispersion d'énergie sous forme de chaleur dans les deux cas. Cette puissance de l'analogie dépasse l'aspect mathématique, lui donne tout son poids et explique sa persistance dans les présentations de l'époque des phénomènes électromagnétiques. Cette idée peut être alors d'une vigueur affirmée car le mécanisme règne dans bon nombre d'esprits scientifiques ;

tous les savants ont alors tenté de montrer que l'on pouvait expliquer toute nouvelle théorie par des considérations de mécanique. Notons l'opinion de Cornu, exprimée en 1896 :

«La tendance générale doit être de montrer comment les faits observés, les phénomènes mesurés, réunis d'abord par des lois empiriques, finissent sous l'impulsion des progrès successifs par rentrer dans les lois générales de la mécanique rationnelle.» [Lucien Poincaré 1918, p. 13]

Dans *Electricité et optique*, Poincaré utilise l'analogie avec le fonctionnement d'un pendule, phénomène comparable par sa nature oscillatoire : le système mécanique peut être présenté de la manière suivante : un corps de masse m soumis à l'action d'un ressort de dureté k et à un frottement visqueux de coefficient f .

L'analogie fait correspondre les grandeurs mécaniques et électriques selon le tableau suivant :

déplacement x	charge q
vitesse $v = dx/dt$	intensité $i = dq/dt$
masse m	inductance L
frottement f	résistance R
rappel élastique k	inverse de la capacité C
force $F = k x$	tension $V = q/C$

He(4): Hertz à Poincaré]

Bonn, le 22 Septembre 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. 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. Semblablement quant au courant permanent dans les métaux. Il me semble que vous avez trouvé un juste milieu et j'ai trouvé beaucoup de plaisir dans la lecture de votre livre.

Les tenants de l'hypothèse mécaniste se représentaient l'électricité comme un fluide. Poincaré présente dans *Électricité et optique* la théorie des deux fluides et celle du fluide unique en électrostatique. A la fin de son introduction, on retrouve la phrase que Hertz a remarquée :

«[...] 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. [...] il importe d'observer que Maxwell n'a jamais regardé *what we may call an electric displacement* comme un véritable mouvement de matière.»
[Poincaré 1890b, p. XVII]

La notion d'incompressibilité illustre bien cette substantialisation de l'électricité .

[He(5) : Poincaré à Hertz]

Rome, le 8 Octobre 1890

Monsieur et cher collègue,

...

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. Sarasin et M. Blondlot pour rendre compte des expériences de MM. S[arasin] et de la R[ive]. 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...

Poincaré soulève ici un autre problème qui est connu sous le nom de résonance multiple. Hertz s'est trouvé confronté à cette importante polémique au début de l'année 1890. Ch. Ed. Guillaume rapporte :

«Il y a un mois, une commission de l'Académie des Sciences fut chargée de décerner un prix pour le meilleur travail sur la physique fait dans les deux dernières années. Le prix [Le prix L. La Caze. cf : art. div., 1889] fut décerné à M. Hertz, «tout en faisant des réserves formelles sur la valeur démonstrative de certains résultats». Les membres de la commission qui avaient insisté sur ces restrictions ne se croyaient pas si près de voir leurs craintes confirmées par l'expérience.» [Guillaume 1890, p. 64]

Mis en évidence par Sarasin et de la Rive, ce phénomène est présenté sous forme de note (Sarasin et de la Rive, 1890b) à l'Académie des Sciences par l'entremise de Cornu. Leur note en elle-même affirme bien leur conception, mais n'attaque pas Hertz. C'est Cornu qui le fait dans la remarque à cette communication. Cornu, qui s'est surtout illustré dans des travaux sur l'optique, avait déjà montré son scepticisme lors de la reproduction des expériences de Hertz par M. Joubert en contestant le calcul de la période de l'excitateur. Il commence sa remarque ainsi :

«Ces résultats montrent avec quelle réserve il convient d'accueillir les conséquences théoriques que M. Hertz a tirées de ses expériences, particulièrement en ce qui concerne la mesure de la vitesse de propagation de l'induction dans un conducteur rectiligne...» [Cornu 1890, p. 75]

Il poursuit en affirmant la gravité du résultat qui remet en cause ce qui semblait le plus assuré dans la théorie de Hertz, la période de

l'excitateur. Et il conclut :

«Nous apprenons aujourd'hui que cette longueur d'onde est variable avec l'appareil d'observation : la théorie de M. Hertz est alors enfermée dans un dilemme dont les deux termes sont également fâcheux : l'expérience montrant que $\lambda = VT$ est variable, ou bien c'est la période T qui n'est pas fixe et unique, conclusion contraire à l'hypothèse fondamentale, à l'idée originale de l'auteur ; ou bien c'est le facteur V qui est variable avec l'explorateur, conséquence absurde, puisque V doit représenter la vitesse de propagation de l'induction, c'est à dire à une constante spécifique.

On voit qu'il est très prudent de procéder comme l'ont fait MM. Sarasin et de la Rive, c'est à dire d'étudier d'abord et avec précision la méthode expérimentale, très curieuse, imaginée par M. Hertz, avant de songer à la présenter comme une démonstration de l'identité de l'électricité et de la lumière.» [Ibid.]

Hertz fait allusion à cette intervention de Cornu. Après avoir réaffirmé que les expériences de Genève ne sont en rien contradictoires avec les siennes, il précise :

«Eine schärfere Kritik ist aus Anlass jener Versuche von einem ausgezeichneten, übrigens diesen Versuchen fernstehendem französischen Gelehrten an meinen Arbeiten ausgeübt worden. Ich hoffe, man wird jetzt urtheilen, dass für eine solche Kritik die Berechtigung fehlte.» [Hertz, 1892a]

Cornu ne fait en effet pas tout à fait partie du cercle des chercheurs sur l'électromagnétisme mais cela n'enlève rien au fond de sa critique, malgré la vigueur de ses propos. Il a notamment écrit les notes et éclaircissement (avec Potier) de l'édition française du *Traité d'électricité et de magnétisme* de Maxwell, mettant souvent en cause la rigueur de l'exposé du savant écossais. Il est à noter que Cornu restera toute sa vie réticent à la théorie électromagnétique de la lumière ainsi qu'à la notion de courant de déplacement.

Quoi qu'il en soit, ces considérations sur le problème de la résonance multiple ou sur la reproduction des expériences montrent la façon dont la science progresse à cette époque. Ce problème de la résonance multiple ne sera pas vraiment résolu mais disparaîtra par l'utilisation d'autres types de récepteurs, notamment le tube de Geisler, le bolomètre de Langley ou les fils de Lecher encore utilisés aujourd'hui dans les expériences de cours. De plus, il faut noter qu'avec la forme rectiligne du résonateur des dernières expériences de Hertz, on supprime presque complètement la résonance multiple.

Hertz a conduit ses expériences avec un résonateur de même période que l'excitateur. En reprenant son dispositif, Sarasin et De La

Rive ont pensé à modifier les dimensions de leur résonateur et montré que la longueur d'onde trouvée dépendait des dimensions du résonateur : c'est ce phénomène qu'ils ont désigné sous le nom de résonance multiple.

Leurs expériences sont réalisées à partir d'un oscillateur de Hertz, dont les sphères sont prolongées par un fil et c'est en déplaçant le résonateur le long du fil qu'ils déterminent la position des nœuds et des ventres. Voici un extrait de la note qu'ils ont communiquée à l'Académie des Sciences à la séance du 13 janvier 1890 :

«... le résonateur donne la longueur d'onde correspondant à l'amplitude du conducteur primaire, parce qu'on a eu soin de prendre, pour la révéler, un résonateur qui a la même période que lui. Celui-ci donne la longueur d'onde du primaire, mais surtout il donne la longueur d'onde qui lui est propre, et ce n'est que parce que c'est la sienne qu'il la donne.... On le voit, ce n'est pas la période du primaire que donne le résonateur, mais une tout autre période, indépendante du primaire, lui appartenant en propre.» [Sarasin et de la Rive 1890b, p. 73]

Ce qu'ils interprètent de la manière suivante :

«Tous ces faits montrent, pensons-nous, que l'on peut dans le mouvement oscillatoire électrique qui émane d'un excitateur de Hertz révéler une onde d'une grandeur quelconque, entre certaines limites, la grandeur de l'onde dont on constate les ventres et les nœuds dans l'expérience ci-dessus ne dépendant que des dimensions du résonateur employé pour cela. 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...» [Ibid.]

Ceci montre, selon Poincaré,

«qu'on peut mettre en évidence une infinité de systèmes de nœuds, correspondant aux diverses vibrations simples en lesquelles on peut décomposer la vibration complexe produite par l'excitateur : on mesure donc la longueur d'onde correspondant au résonateur employé.» [Poincaré 1894, p. 123]

Poincaré et V. Bjerknes proposeront une première explication en faisant intervenir l'amortissement du courant dans l'excitateur et

dans le résonateur. Les valeurs sont très différentes et l'amortissement est très faible dans le résonateur et important dans l'excitateur, ce que Bjercknes vérifiera expérimentalement. Pour lui, le phénomène au résonateur fait intervenir la superposition d'ondes, celles émises par l'excitateur et des ondes correspondant aux oscillations propres au résonateur :

«[...] le premier système de maxima et de minima sera caché complètement par le second après une dizaine d'oscillations. Si l'étincelle secondaire ne se produit qu'après ce moment, le résonateur ne nous fera observer que l'inter-nœud correspondant au second système de maxima et de minima, et nous arriverons au phénomène connu de la résonance multiple sans avoir recours à l'hypothèse à l'aide de laquelle MM. Sarasin et De La Rive ont expliqué leur belle découverte.

M. Poincaré le premier a proposé cette explication, en arrivant par des considérations théoriques à trouver des valeurs des amortissements semblables à celles que j'ai trouvées par la voie des expériences...» [Bjercknes 1891d, p. 1429]

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, quelle que soit la vitesse de propagation. Le résultat est indépendant de la valeur de la vitesse de propagation et ne peut servir à la mesurer.» [Poincaré 1894, p. 130]

C'est le dispositif de Blondlot qui semble le plus adapté à cette expérimentation. Il permet d'appliquer la formule de Thomson avec suffisamment d'exactitude. C'est en considérant les expériences de N. Savart sur les interférences des ondes sonores que, par analogie, Blondlot (1891b) applique l'équation $\lambda = VT$ à ce qu'il appelle le «bruit électrique» : si T est la période propre au résonateur et λ la longueur d'onde définie dans ce dernier par les ondes stationnaires qui s'y forment, la vitesse de propagation des ondes dans le fil s'obtient bien par la formule précédente. Il construit son résonateur de façon à calculer facilement sa période T, en utilisant toujours la formule de Thomson $T = 2\pi\sqrt{LC}$, en déterminant expérimentalement la capacité C du condensateur et en calculant la *self-induction* L du circuit.

[He(6) : Hertz à Poincaré]

Cette lettre sera reprise (en partie) par Poincaré, 1891d.

Bonn, le 19 octobre 1890

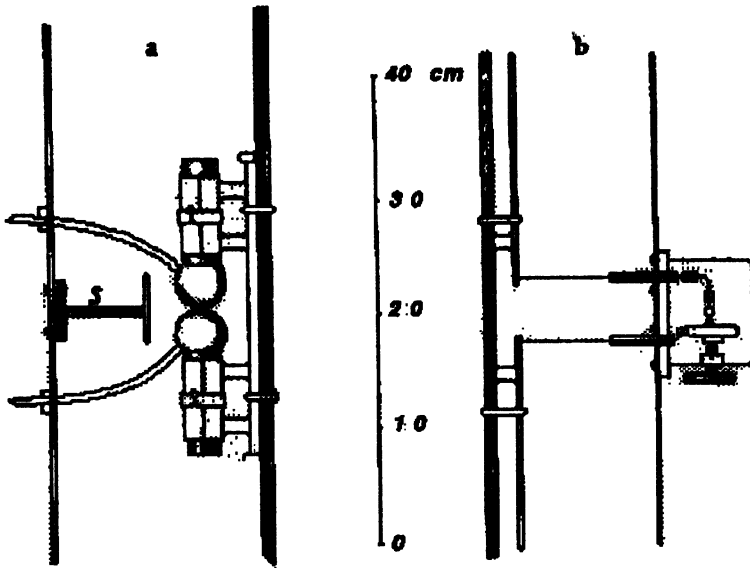
Monsieur et cher collègue,

C'est avec un véritable plaisir que je réponds aux observations contenues dans votre lettre du 8, qui me paraissent fort justes.

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.

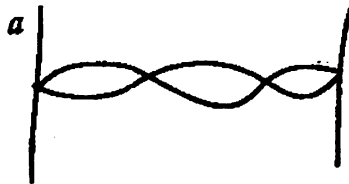
En a et b où les fils venant du Ruhmkorff et couverts de caoutchouc traversent le miroir, il y a des décharges d'une lumière très faible mais très nuisible entre la surface extérieure du caoutchouc et le métal du miroir. Ces décharges sont extérieurs à ce qu'il paraît à la décharge principale et c'est 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 caoutchouc, ou en déplaçant les trous percés dans le miroir, etc., etc.

A l'automne 1888, Hertz découvre les ondes de longueur d'onde courte (30 cm), construit l'excitateur adéquat et utilise des miroirs concaves. Les deux croquis suivants [Hertz 1888, p. 197] représentent un agrandissement de l'excitateur et du résonateur.



On note à l'excitateur (croquis a) le petit dispositif en bois S dont Hertz et Poincaré discutent le bien fondé : Hertz le justifie pour éviter l'action d'une lumière bleutée provoquée par des décharges à l'endroit où les fils traversent le miroir de zinc. Ce problème des rayons ultraviolets a été noté par Hertz dès le printemps de 1887 [Hertz 1887b]. On peut le considérer comme le découvreur de l'effet photoélectrique.

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 Mrsse 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 exacte de longueur d'onde, disons à trois longueurs d'onde. Nous aurons deux noeuds très prononcés, qui auront la distance exacte. Si la longueur de la salle est égale à 4 longueurs d'ondes nous aurons trois noeuds très prononcés. Mais supposons que la longueur de la salle ait une valeur intermédiaire et plus rapproché de la première, nous aurons deux noeuds 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.

Pour qu'il y ait une onde stationnaire, il faut que la longueur séparant l'émetteur de la surface réfléchissante soit un multiple entier de *demi*-longueur d'onde. Ceci montre que Hertz définit l'oscillation par la demi-longueur d'onde ou la demi-période et on trouve dans ses textes la formule $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

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 noeuds du mur et de donner une valeur trop grande aux longueurs mesurées des ondes.

Le problème qui transparait ici est que Hertz n'a pas pu vérifier l'égalité des vitesses de propagation dans le fil et dans l'air. Toute une partie de ses expériences consiste en effet en la vérification de l'égalité des vitesses dans le fil et dans l'air. Les explications données par différents auteurs se fondent soit sur des considérations théoriques ou reviennent sur les conditions expérimentales.

En effet,

«Besassen nun beide Wirkungen eine endliche und die gleiche Geschwindigkeit, wie ich erwartete, so mussten sie in allen Entfernungen mit gleicher Phase interferieren.» [Hertz 1892a]

D'abord conduit à un résultat contradictoire, correspondant à une vitesse de propagation infinie dans l'air, Hertz, reprenant les expériences à tête reposée, trouve une vitesse finie plus grande dans l'air que dans les fils, mais,

«[...] obwohl mir die Verschiedenheit der Geschwindigkeiten unwahrscheinlich geschienen hatte, glaubte ich doch den Versuchen nicht misstrauen zu dürfen. Es war ja auch keineswegs unmöglich, dass unbekannte Ursachen, etwa eine eigentliche Trägheit der freien

Elektricität, die Bewegung im Drahte verlangsamt.» [Ibid.]

Hertz donne plusieurs explications :

- La salle joue un rôle actif dans les résultats obtenus.
- Il ajoute prudemment des considérations théoriques sur la propagation de l'énergie qui ferait apparaître une énergie infinie si la vitesse est infinie :

Mais il 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 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, (où 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 :



$$\int \frac{1}{r} \frac{1}{r} 2\pi r dr$$

entre les limites R (rayon du fil) et ∞ .

Hertz utilise ici les termes *force électrique* et *force magnétique* qui recouvrent les notions de champ électrique et champ magnétique dont les intensités varient bien en $1/r$. Il définit le champ électrique et le champ magnétique par les actions mécaniques éprouvées par les corps qu'on y introduit [Poincaré 1894, p. 4].

Nous trouvons avec J. J. Thomson un autre avis, toujours cependant liée aux approximations admises dans la théorie. Il

rappelle dans un premier temps l'enjeu de cette vérification :

«[...] I have shown that if Maxwell's theory that electricity moves like a perfectly incompressible fluid is not true, the rate of propagation of very rapidly alternating currents along a wire placed at an infinite distance from others conductors cannot be the same as the rate of propagation of the electrodynamic action through the surrounding dielectric. As Hertz, in his experiments on the rate of propagation of electrical waves along a metal wire, found that these rates were not the same, it might appear that this proved unmistakably that Maxwell's theorie is untenable.» [Thomson 1890a]

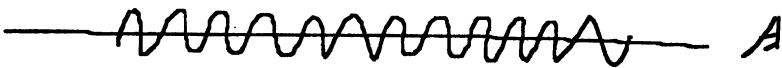
Puis il analyse la source possible de l'erreur commise : Il faut tenir compte de la capacité du fil s'il n'est pas à grande distance des autres conducteurs et conclut en conseillant l'utilisation d'un fil entouré par un blindage, cylindre métallique coaxial, ce qui permet d'éliminer toute influence électrique extérieure, phénomène que l'on peut relier à l'effet de peau et que Brillouin avait aussi relevé.

Dans l'article suivant portant sur le même problème, il apporte une dernière hypothèse cette fois liée à l'expérience, en prenant en compte les murs de la salle :

«The fact, however, that I got a wave-length in the wire the same that obtained by Hertz through air, is sufficient to show that it is not necessary to suppose that the velocities through the wire and air are different, but that the difference in Hertz's results may have been due to a change in the position of the vibrator relatively to the walls of the room.» (Thomson, 1890b)

...

3° : Les expériences de Mrs Sar[asin]. et d[e]. l[a]. R[ive]. 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 :

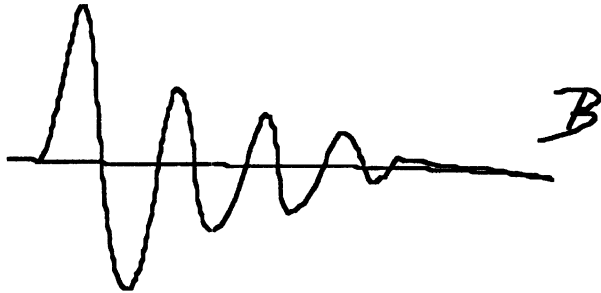


il ferait vibrer les résonateurs en harmonie mille fois mieux que les autres. S'il ne produisait

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 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 Mers S[arasin] et de l[a] 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 sur, c'est peut-être parce que en réalité le cas est un peu complexe et ne peut pas être absolu en peu de lignes.

Cette discussion complète les remarques faites sur la polémique liée à la résonance multiple dans la lettre précédente.

[He(7) : Poincaré à Hertz]

Paris, le 21 Octobre 1890

...

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. 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.

Le problème de la reproduction des expériences de Hertz s'est souvent posé et il est essentiel dans la validation et la propagation de la théorie. La reproduction d'une expérience est considérée comme un passage obligatoire pour que sa validation soit acquise. Cette reproduction doit être effectuée par d'autres scientifiques, compétents et indépendants. Ce problème est permanent dans cette période de l'histoire de l'électromagnétisme. Il apparaît nettement dans le mémoire de Brillouin dont nous avons déjà parlé. Dans son exposé, Brillouin insiste sur la difficulté de refaire les expériences. Hertz en est parfaitement conscient puisqu'il affirme :

«Vielleicht fragt der Leser, warum ich nicht selbst versucht habe, durch Wiederholung der Versuche die Zweifel zu beseitigen. Ich habe die Versuche wohl wiederholt, aber ich habe dabei nur gefunden, was auch zu vermuthen steht, dass die einfache Wiederholung unter ähnlichen Verhältnissen die Zweifel nicht zu heben, sondern eher zu vermehren im Stande ist. Die sichere Entscheidung steht bei Versuchen, welche unter günstigeren Verhältnissen ausgeführt werden.» [Hertz, 1892a]

Cette difficulté éprouvée par Hertz lui-même apparaît bien quand il fait part à Poincaré de son échec à reproduire à Bonn les expériences de Karlsruhe. (cf : Lettre H14, ci-dessous)

Brillouin regrette les difficultés des expérimentateurs dans le domaine des ondes électromagnétiques, en référence au travail de l'ouvrier facteur d'orgue et de l'accordeur qui parachève la création

de l'instrument de musique :

«Nous n'en demanderons pas tant en électricité, et nous nous contenterions de pouvoir acheter un excitateur tout accordé, ou d'avoir des règles pratiques pour le construire. Mais nous n'en sommes pas là...» [Brillouin 1890, p. 141]

Il illustre les difficultés que rencontrent ceux qui essaient de reproduire les expériences de Hertz. L'expérimentateur, un sourd-muet

«acquerra peu à peu de l'habileté, réussira plus souvent à faire parler le tuyau, mais sans se débarrasser complètement des sifflements, des ronflements, de tout le tapage des sons étrangers, et surtout sans obtenir encore un son pur et harmonieux dans lequel la période fondamentale soit dominante... M. Hertz est probablement seul plus habile jusqu'à présent...» [Ibid.]

Et il demande à Hertz...

«de nous épargner le long apprentissage par lequel il a passé, en consacrant pour quelques mois tous ses efforts à l'établissement de préceptes de construction et de méthodes de réglage d'un succès assuré.» [Ibid.]

Et dans sa conclusion, Brillouin souligne :

«Une seule expérience favorable, dont nous n'ayons aucune raison de douter, est ici plus intéressante qu'une foule d'expériences négatives ; tous les résultats contradictoires qu'on pourra citer ne prouvent rien, sinon que les appareils étaient mal réglés. Espérons que M. Hertz aura à cœur de dissiper toutes les objections que ces insuccès soulèvent, en découvrant et nous faisant bientôt connaître les lois des étincelles de très courte période.» [Ibid.]

Tout l'article viserait donc essentiellement à demander une aide à Hertz pour la reproduction de ses expériences.

On retrouve une allusion directe à ce problème dans un article de Guillaume dans la *Revue générale des sciences*, qui après avoir fait un bref historique des travaux de Hertz, poursuit :

«Ces expériences de M. Hertz furent bientôt répétées dans les principaux laboratoires de l'Europe ; [...] Le succès n'était pas toujours complet, ce qu'on attribuait à des défauts d'appareils, mal copiés pensait-on, sur ceux de M. Hertz. [...] A chaque nouvelle expérience se place un pourquoi auquel on ne trouve pas de réponse. Les esprits demandent à être mieux renseignés, et attendent des détails plus précis sur les expériences concluantes...» [Guillaume 1890, p. 63]

Ainsi que le souligne Christine Blondel,

«La science est faite d'un savoir dont on peut décrire toutes les étapes, que l'on peut léguer par écrit, mais aussi d'un savoir implicite, transmis oralement par imitation des gestes des maîtres et dont la trace s'estompe au fil des ans pour finir par s'effacer, interdire toute reproduction.» [Blondel 1994, p. 12].

Et elle cite Poincaré :

«Les circonstances où l'on a opéré ne se reproduisent jamais toutes à la fois. Le fait observé ne recommencera donc jamais.» [Ibid.]

D'autres savants ont répété les expériences de Hertz. Ce sont notamment Sarasin et De La Rive à Genève, Perot et Joubert à Paris, Blondlot à Nancy, Bjerknes à Christiania (Oslo), Lodge, Fitzgerald et Trouton en Angleterre, Boltzmann, Lecher à Vienne, Hagenbach et Zehnder à Bâle... Certaines démonstrations furent alors faites «devant un auditoire nombreux» dans un souci pédagogique, notamment par Boltzmann et on peut noter de manière anecdotique les expériences de Ritter où on utilisait

«en dérivation sur le conducteur secondaire une grenouille préparée comme pour les expériences de Volta. Quand les petites étincelles se produisent dans le circuit secondaire, on est prévenu par les contractions musculaires de la grenouille.» [*Journal de physique*, t. X, 1891, p. 573]

Les résultats obtenus par Sarasin et De La Rive à Genève montrent un fort désaccord avec ceux de Hertz pour des expériences pratiquement identiques. Ceci provoque l'étonnement de Poincaré. 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 toujours cet écart par des réflexions sur les deux faces parallèles de la salle qui compliquent évidemment l'analyse ainsi que l'emplacement de son miroir de zinc dans une niche du mur. Mais il met en doute 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 dans des circonstances plus défavorables que les siennes :

«Die Sorgfalt der Beobachtung kann die Ungunst der räumlichen Verhältnisse nicht kompensieren. [...] Läge also die Entscheidung einzig und allein bei den Versuchen, so könnte ich denjenigen der Herren Sarasin und de la Rive kein grösseres Gewicht als meinen eigenen beilegen...sie zeigen, dass vor andern reflectirenden Wänden und in andern Räumen die Erscheinungen quantitativ

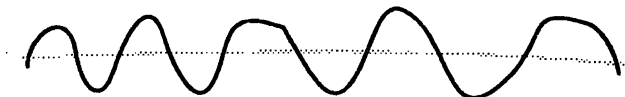
anders ausfallen und dass die Wellenlangen unter Umständen auch die von der Theorie geforderten Werthe haben...» [Hertz 1892a]

Dans une note de bas de page, il 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. C'est ce que les savants genevois vont mettre à l'épreuve.

Dans une lettre à Poincaré datée du 17 décembre 1892, Sarasin annoncera leur réussite dans la confirmation des idées de Hertz.

Par ses dispositifs expérimentaux conduisant à des mesures précises, Blondlot jouera également un rôle essentiel dans l'adoption des idées de Maxwell, notamment en décidant Potier à introduire la présentation des expériences de Hertz et Sarasin et de la Rive dans son cours à l'École Polytechnique (1893).

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 mesurez 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.

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 ?

Il est étonnant de constater la façon dont Hertz 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. Il semble bien que les vitesses trouvées seront différentes en fonction de la longueur du parcours considéré et qu'il ne faut retenir comme l'affirme Poincaré que la définition qui fait intervenir la longueur réelle du fil. Dans une note, il précise cependant 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 :

«[...] Si le diamètre du fil est presque égal au pas de l'hélice de façon que les spires se touchent presque, il semble que le fil doit se rapprocher de la condition d'un fil tendu et que par conséquent la vitesse évaluée de la seconde manière doit se rapprocher de $1/K$ [vitesse de la lumière]...» [Poincaré 1891d]

3° *Parlons maintenant de la «résonance multiple» de MM. Sarazin 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.

...

[He(11) : Hertz à Poincaré]

Bonn, le 7 Décembre 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 physicien 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 divers 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 tous les difficultés,

La correspondance Poincaré - Hertz

que vous avez déjà vaincues. 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.

Feynman exprime la même idée que Hertz. Il affirme :

«Les mathématiciens aiment rendre leurs raisonnements aussi généraux que possible... Le physicien s'intéresse toujours aux cas particuliers, jamais au cas général.» [Feynman 1980, p. 64]

Hertz semble éprouver des difficultés à suivre certains développements mathématiques, mais il faut quand même le considérer comme un physicien mathématicien. Il a développé et adapté la théorie de l'électromagnétisme en utilisant un formalisme de bon niveau. Boltzmann le signale quand il présente les méthodes de la physique théorique :

«[...] in the development of other branches of physics (electrodynamics, theory of pyro- and piezo-electricity and so on), much influence was gained by the view that it could be the task of theory to see through the mechanism of nature, but only to set up the simplest possible differential equations starting from the simplest possible assumptions (That certain quantities are linear or other simple functions and so on), such that from them we can calculate the phenomena of nature as accurately as possible; as Hertz puts it rather characteristically, the task is merely to represent directly observed phenomena in bare equations, without the colourful wrappings of hypotheses that our imagination lends them.» [Boltzmann 1974]

En citant Hertz, Boltzmann fait aussi allusion ici à la célèbre phrase où le savant allemand résume la théorie de Maxwell :

«Auf die Frage «Was ist die Maxwell'sche Theorie?» wüsste ich also keine kürzere und bestimmtere Antwort als diese: Die Maxwell'sche Theorie ist das System der Maxwell'schen Gleichungen.» [Hertz 1892a]

C'est auprès de Feynman que nous pouvons percevoir la manière dont les physiciens considèrent les relations entre la physique et les mathématiques :

«Les mathématiciens ne s'occupent que de la structure du raisonnement et ne s'intéressent pas vraiment à ce dont ils parlent. Ils n'ont même pas besoin de connaître ce dont ils parlent, ou, comme ils le disent eux-mêmes, de savoir si ce qu'ils disent est vrai.... Les mathématiques préparent des raisonnements abstraits tout prêts à être utilisés si vous avez un ensemble d'axiomes du

Etienne Bolmont

monde réel. [...] Mais le physicien donne un sens à chacune de ses phrases[...]. En physique, vous devez comprendre le lien entre les mots et le monde réel.» [Feynman 1980, p. 63-64]

Poincaré souligne également cette nécessaire prise en compte du monde :

«[...] le mathématicien pur qui oublierait l'existence du monde extérieur, serait semblable à un peintre qui saurait harmonieusement combiner les couleurs et les formes, mais à qui les modèles feraient défaut.» [Poincaré 1902]

Ici, Hertz préfère aborder le problème de la nature physique de l'action des corps les uns sur les autres à distance. Il montre ainsi la puissance du raisonnement mathématique mais aussi sa nécessaire prise en main par les physiciens.

[He(14) : Hertz à Poincaré]

Bonn, le 19 Avril 1891

Monsieur et cher collègue,

Vous avez eu l'obligeance de me faire parvenir encore le second volume de votre bel ouvrage. 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 accidentelles 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.

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.

Cette discussion laisse indéniablement un certain malaise par rapport au caractère démonstratif des expériences de Hertz. Poincaré montrera que

«Les expériences de Hertz et celles de MM. Sarasin et de la Rive ne peuvent servir à vérifier la théorie...» [Poincaré 1894, p. 130]

Mais ainsi que le souligne Jean Cazenobe :

«L'expérimentation sur les vitesses n'a pas permis de valider la théorie ; c'est au contraire la théorie qui a rendu vraisemblables les résultats expérimentaux. Bien entendu, cela n'a pas empêché la science d'avancer... Il fallait y croire. On y a cru, et pendant toute cette période, la foi scientifique l'a emporté sur le doute expérimental.» [Cazenobe 1988, p. 264-265]

Contemporain de Hertz, Oliver Heaviside ne comprend pas ceux qui affirment que les expériences de Hertz n'ont rien prouvé. Pour lui, il est évident qu'une grande partie du travail théorique a trouvé un appui, une preuve expérimentale dans ces expériences, notamment sur le mode de propagation à la surface des conducteurs et à la vitesse de la lumière d'ondes oscillant très rapidement, telles que Hertz a su les produire.

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 un sur les autres et qui ne permettaient que des positions d'un nombre limité[] à mes miroirs de zinc de 4 mètres 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. 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 vus aussi, mais tandis que à Carlsruhe dans les noeuds le résonateur se taisait presque absolument, cette fois les noeuds étaient à peine discernable par la moindre vivacité des étincelles à tel degré, qu'il m'était impossible de dire si le premier noeud 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 pourrais 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 les 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 antérieures 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.

...

[] Ces positions n'étaient pas symétriques par rapport aux 6 plans des parois de la salle.*

Cette lettre repose le problème de la duplication des expériences, déjà abordé dans les commentaires précédents. Le fait que Hertz lui-même soit confronté à la reproduction de ses propres expériences n'est pas sans nous indiquer la délicatesse de leur mise au point et nous incite à revenir sur les demandes de Brillouin somme toute justifiées.

[He(15) : Hertz à Poincaré]

Bonn, décembre 30. 1891

Monsieur et cher collègue,

Je viens vous porter mes meilleurs voeux 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. 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. Je n'ai pas été moins charmé du

sentiment profond de justice et d'impartialité, avec lequel vous chercher 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 Bressa. 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. ...

Le prix Bressa, attribué par l'Académie royale des Sciences de Turin «a 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 a été attribué à la séance du 20 décembre 1891 à Bertrand (calcul des probabilités), Haeckel (mémoire sur les radiolaires...), Lie (théorie des groupes de transformation) et à Hertz pour ses «mémoires sur la transmission des actions électriques».

Le caractère de Hertz transparaît dans cette dernière lettre, essentiellement dans sa modestie. Le physicien Guillaume affirmait : «Peu de gens sont moins hertzistes que lui...» [Guillaume 1890, p. 63]

Malgré cette remarque, il est certain que nous n'aurions pas actuellement la même perception de l'oeuvre de Hertz, si nous nous référiions simplement à l'étude de ses publications scientifiques. La correspondance apporte cet éclairage sur une science qui hésite, qui évolue de semaine en semaine, et sur des savants qui doutent. Les notes de laboratoire viendront compléter cette description et on pourra se reporter à l'ouvrage de Buchwald (1994) qui en analyse la portée scientifique avec une grande précision.

La correspondance Poincaré - Hertz

Bibliographie

Bauer, E.

1949 *L'électromagnétisme hier et aujourd'hui* (Paris : Albin Michel).

Belhoste B., Dahan-Dalmedico, A., Picon, A.

1994 *La formation polytechnicienne 1794-1994* (Paris : Dunod).

Bjerknes, V.

1891a Über die Dämpfung schneller electrischer Schwingungen, *Wiedemann Annalen, Annalen der Physik und Chemie*, **44**, juin 1891, 75-91.

1891b Über den zeitlichen Verlauf der Schwingungen im primären Hertz'schen Leiter, *Wiedemann Annalen, Annalen der Physik und Chemie*, **44**, 24/7/1891, 513-526.

1891c Über die Erscheinung der multiplen Resonanz electrischer Wellen, *Wiedemann Annalen, Annalen der Physik und Chemie*, **44**, juin 1891, 92-101.

Blondel, C.

1994 L'improbable transmission du savoir-faire expérimental, *Pour la science*, **202**, 10-12.

Blondlot, R.

1891a La théorie électromagnétique de la lumière, *Revue générale des sciences pures et appliquées*, (15/5/1891).

1891b Détermination expérimentale de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, **113**, (séance du 09/11/1891), 628-631.

1891c Détermination expérimentale de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques, *Journal de physique théorique et appliquée*, **10**, 549-561.

Boltzmann, L.

1890 Sur les expériences de Hertz (traduction des *Annalen der Physik und Chemie*, LX, p. 399), *La lumière électrique, Journal universel de l'électricité*, **37**, 342-343.

1974 *Theoretical Physics and Philosophical Problems* (Dordrecht : D. Reidel publishing Company).

Brillouin, M.

1890 Sur les expériences de M. Hertz, *Revue générale des sciences pures et appliquées*, (15/03/1890), 141-143.

Bruhat, G.

1963 *Electricité*, révisé par Goudet (Paris : Masson).

Etienne Bolmont

- Buchwald, J.
1994 *The Creation of Scientific Effects, Heinrich Hertz and Electric Waves* (Chicago : University of Chicago Press).
- Cazenobe, J.
1988 Les incertitudes d'une découverte : l'onde de Hertz de 1888 à 1900, *Revue d'histoire des sciences*, **XLI-2**, 236-265.
- Chalmers, A.
1987 *Qu'est-ce que la science ?* (Paris : La Découverte).
- Cornu, M. A.
1890 Remarque à la note de MM. Sarasin et de la Rive, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, (séance du 13/01/1890), 75-76.
- Doncel, M. G.
1994 Heinrich Hertz, *Pour la Science*, **197**, mars 1994.
- Feynman, R.
1980 *La nature de la physique* (Paris : Seuil).
- Giedymin, J.
1991 Geometrical and Physical Conventionalism of Henri Poincaré in Epistemological Formulation, *Studies In History and Philosophy of Science*, **22** , 1-22.
- Guillaume, C. E.
1890 La discussion récente des expériences de M. Hertz, *Revue générale des sciences pures et appliquées*, (30/01/1890), 63.
- Heaviside, O.
1971 *Electromagnetic Theory*, I (New York : Chelsea Publishing Company).
- Hertz, H.
1887a Ueber sehr schnelle elektrische Schwingungen, *Wiedemann Annalen, Annalen der Physik und Chemie*, **31**.
1887b Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung, *Wiedemann Annalen, Annalen der Physik und Chemie*, **31**.
1888 Ueber Strahlen elektrischer Kraft, *Wiedemann Annalen, Annalen der Physik und Chemie*, **36**.
1889 The Forces of Electric Oscillations treated according to Maxwell's Theory, *Nature*, traduit par O. Lodge, 07/3/1889, 450-452.
1890a Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper, *Wiedemann Annalen, Annalen der Physik und Chemie*, **40**.

La correspondance Poincaré - Hertz

- 1890b Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper, *Wiedemann Annalen, Annalen der Physik und Chemie*, **41**.
- 1890c Sur les équations fondamentales de l'électrodynamique pour les corps immobiles (traduction de Chassy), *La Lumière électrique, Journal universel de l'électricité*, **37**, 137-145, 239-246.
- 1890d Sur les équations fondamentales de l'électrodynamique pour les corps en mouvement, *La Lumière électrique, Journal universel de l'électricité*, (traduction), **38**, 488-493.
- 1890e Sur les rayons de force électrique, traduction par Joubert, *Journal de physique théorique et appliquée*, **9**, 127-137.
- 1892a *Gesammelte Werke, Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft* (Leipzig : Barth).
- 1892b Recherches sur la propagation de la force électrique, Aperçu préliminaire, *La Lumière électrique, Journal universel de l'électricité*, **44**, 285-289, 335-343, 387-391. Traduction de *Einleitende Uebersicht*.
- 1895 *Gesammelte Werke, Schriften Vermischten Inhalts* (Leipzig : Barth).

Poincaré, H.

- 1890a Contribution à la théorie des expériences de M. Hertz, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, **111**, (séance du 18/08/1890), 322-326.
- 1890b *Electricité et optique*, 1, *Les théories de Maxwell et la théorie électromagnétique de la lumière* (Paris : Carré et Naud).
- 1891 b Sur la résonance multiple des oscillations hertziennes, *Archives des sciences physiques et naturelles* (Genève), 3e période, **25**, p. 609-617) ; *Oeuvres complètes*, X, 20.
- 1891c Sur la théorie des oscillations hertziennes, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, **113**, (séance du 26/10/1891), 515-519.
- 1891d *Electricité et optique*, 2, *Les théories de Helmholtz et les expériences de Hertz* (Paris : Carré).
- 1892b Sur la propagation des oscillations hertziennes, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, (séance du 9/5/1892), 1046-1048.
- 1892c Sur la propagation des oscillations électriques, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, (séance du 30/5/1892), 1229-1233.
- 1892d *Thermodynamique* (Paris : Carré et Naud).
- 1894 *Les oscillations électriques* (Paris : Carré et Naud).
- 1901 *Electricité et optique*, deuxième édition, Paris ; cité selon la réimpression de 1990 (Paris : Jacques Gabay).

Etienne Bolmont

- 1902 *La science et l'hypothèse*, (Paris : Flammarion), cité selon la réédition de 1968 (Paris : Flammarion).
- 1905 *La valeur de la science* (Paris : Flammarion).
- Poincaré, L.
- 1918 *La physique moderne, son évolution* (Paris : Flammarion).
- Sarasin, E., de la Rive, L.
- 1890a Sur la résonance multiple des ondulations électriques de M. Hertz se propageant le long des fils conducteurs, *Archives des sciences physiques et naturelles* (Genève), 23, 13.
- 1890b Résonance multiple des ondulations électriques, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, (séance du 13/01/1890), 72-75.
- 1891 Propagation de l'ondulation électrique hertziennne dans l'air, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, (séance du 31/03/1891), 658-661.
- 1892 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 de l'Académie des Sciences*, (séance du 19/12/1892), 1277-1280.
- Thomson, J. J.
- 1890a 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*, XLVI, (1/04/1889).
- 1890b On the Effect produced by Conductors in the Neighbourhood of a Wire, *Proceedings of the Royal Society of London*, XLVII, (2/05/1889).
- Volterra, V., Hadamard, J., Langevin, P., Boutroux, P.
- 1914 *Henri Poincaré, l'œuvre scientifique, l'œuvre philosophique* (Paris : Alcan).
- Articles divers
- 1889 Prix La Caze, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, (séance du 30/12/1889), 1016.
- 1891b Relazione della seconda giunta per il settimo Premio Bressa, *Atti della R. Accademia di Torino*, XXVII, 231-235.
- 1995 Hertz, *Les cahiers de Science et vie*, 30.