

Magnétisme et énergétique. La méthode de Duhem. A propos d'une lettre inédite de Pierre Curie.

In: Revue d'histoire des sciences. 1978, Tome 31 n°4. pp. 333-344.

Résumé

RÉSUMÉ. — La lettre inédite adressée le 11 janvier 1902 par Pierre Curie à Pierre Duhem révèle, à propos d'un problème scientifique ponctuel, la magnéto-statique, plus que l'opposition de deux hommes, celle de deux méthodes d'approche de la réalité scientifique : l'une, héritière de la tradition expérimentale et rationaliste de la science française, l'autre, attachée à soumettre la réalité aux grands principes de la thermodynamique générale (ou énergétique).

Abstract

SUMMARY. — The unpublished letter of 11 January 1902 from Pierre Curie to Pierre Duhem reveals, on the subject of a specific scientific problem, magneto-statics, more than the opposition between two men, that between two approaches to scientific reality : the one heir to the experimental and rationalist tradition of French science, the other more intent on submitting reality to the great principles of general thermodynamics (or energetics).

Citer ce document / Cite this document :

BROUZENG PAUL. Magnétisme et énergétique. La méthode de Duhem. A propos d'une lettre inédite de Pierre Curie. In: Revue d'histoire des sciences. 1978, Tome 31 n°4. pp. 333-344.

doi : 10.3406/rhs.1978.1596

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rhs_0151-4105_1978_num_31_4_1596

Magnétisme et énergétique

La méthode de Duhem

A propos d'une lettre inédite de Pierre Curie

RÉSUMÉ. — La lettre inédite adressée le 11 janvier 1902 par Pierre Curie à Pierre Duhem révèle, à propos d'un problème scientifique ponctuel, la magnéto-statique, plus que l'opposition de deux hommes, celle de deux méthodes d'approche de la réalité scientifique : l'une, héritière de la tradition expérimentale et rationaliste de la science française, l'autre, attachée à soumettre la réalité aux grands principes de la thermodynamique générale (ou énergétique).

SUMMARY. — *The unpublished letter of 11 January 1902 from Pierre Curie to Pierre Duhem reveals, on the subject of a specific scientific problem, magneto-statics, more than the opposition between two men, that between two approaches to scientific reality : the one heir to the experimental and rationalist tradition of French science, the other more intent on submitting reality to the great principles of general thermodynamics (or energetics).*

Un premier regard sur la correspondance de Pierre Duhem (1861-1916) avec les physiciens et chimistes de son époque révèle l'isolement du savant dans la communauté scientifique française. C'est en effet avec des universitaires, professeurs, chercheurs américains (Bancroft et Trevor à Ithaca, Gibbs à Newhaven), allemands (Clausius à Bonn, Helmholtz à Berlin), belges ou néerlandais que P. Duhem entretient les relations scientifiques les plus fécondes..., sans doute parce que les orientations de recherches définies dans leurs laboratoires semblent intéresser vivement le savant français..., sans doute aussi parce que les travaux de Pierre Duhem suscitent une grande curiosité de la part de ces correspondants.

Dans cette mesure, la lettre adressée par Pierre Curie (1859-1909) à Pierre Duhem le 11 janvier 1902 présente un intérêt particulier en raison de la personnalité de ces savants engagés tous deux dans des recherches de caractères très différents, ressentis à l'époque comme antagonistes. Pierre Curie et Pierre Duhem

peuvent à juste titre être considérés, en France, comme des chefs de file de courants scientifiques opposés.

Les premières phrases de la lettre de Pierre Curie (que nous reproduisons intégralement en Appendice) illustrent cette opposition. La réponse de Pierre Curie fait suite à l'envoi par Pierre Duhem de son ouvrage sur *Les théories électriques de J. Clerk Maxwell. Etude historique et critique* publié en 1901 (1) dans lequel Duhem exprime sa surprise réprobatrice devant l'« imprudence inouïe » dont fait preuve le savant écossais dans l'élaboration de ses hypothèses. Pierre Curie s'en étonne, s'en irrite même, redoutant sans doute de découvrir chez Duhem ce que son élève et disciple Paul Langevin reprochera aux défenseurs de l'énergétisme, à Duhem en particulier :

« N'y a-t-il pas là, déclarera-t-il aux énergétistes en 1904, une tendance fâcheuse à limiter le champ des investigations, à déclarer suffisante et définitive une connaissance générale et superficielle des choses, à s'interdire un examen plus approfondi parce qu'un premier succès nous a livré quelques-unes des lois les plus générales ? »

Pierre Duhem déploiera des efforts considérables pour tenter de lever, sans faire appel aux nouvelles découvertes de la mécanique quantique, les « contradictions » relevées dans l'œuvre de Maxwell.

Jusqu'à sa mort, comme en font foi les dernières notes aux *Comptes rendus* de l'Académie des Sciences en 1916 (2), P. Duhem consacra ses travaux scientifiques à la recherche et l'élaboration d'une théorie susceptible de « représenter les faits acquis » et de justifier les approximations faites par Maxwell des « postulats admis sans avoir été énoncés ». La dernière tentative de Duhem s'appuiera sur les théories d'Helmholtz plus logiques à ses yeux que celles de Maxwell.

* * *

L'intérêt essentiel du document réside, nous semble-t-il, dans sa deuxième partie, où Pierre Curie fait état de son « complet désaccord » avec Pierre Duhem en ce qui concerne la présentation

(1) P. DUHEM, *Les théories électriques de J. Clerk Maxwell. Etude historique et critique*, 1 vol. in-8°, 228 p., Paris, Hermann, 1902.

(2) P. DUHEM, Le problème général de l'électrodynamique pour un système de conducteurs immobiles, *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences*, t. CLXII, 1916, p. 542 ; Les oscillations électriques sur un système de corps purement diélectriques, *ibid.*, t. CLXII, 1916, p. 736 ; Sur la théorie générale des oscillations électriques, *ibid.*, t. CLXII, 1916, p. 815.

des problèmes du magnétisme. 1902 ! A cette époque, on connaît, bien entendu, les recherches effectuées par Pierre Curie sur le comportement des corps ferromagnétiques, paramagnétiques et diamagnétiques. Le travail de thèse, présenté en 1895, alors que le savant était encore chef de travaux à l'École de Physique et Chimie industrielles de Paris, sur les « Propriétés magnétiques des corps à diverses températures » (3) contient des résultats d'une importance considérable. Les nouvelles données expérimentales confirment la différence notable de comportement entre corps diamagnétiques et paramagnétiques. Curie précise qu'il s'agit de phénomènes distincts et qu'il n'est pas possible d'établir quelque analogie, correspondance ou équivalence avec les phénomènes de l'électrostatique. A la faveur de ses travaux qui révèlent une habileté expérimentale remarquable, Pierre Curie découvre la loi de variation du coefficient d'aimantation spécifique d'un corps paramagnétique

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{C_v}{T}$$

χ : susceptibilité magnétique du corps

C_v : constante volumique de la loi de Curie.

$$C_v = \frac{n_v m^2}{3 k}$$

n_v : nombre de dipôles par unité de volume

m : moment magnétique élémentaire de chaque dipôle

k : constante de Boltzmann

\vec{M} : vecteur aimantation ou moment magnétique de l'unité de volume

\vec{H} : champ magnétique extérieur

T : température absolue.

et la loi de variation du même coefficient dans le cas d'un corps ferromagnétique lorsque la température est suffisamment éloignée de celle de transformation — que l'on appellera température de Curie —, notamment au-dessus de cette température lorsque le corps ferromagnétique se comporte comme un paramagnétique.

Ces conclusions préparent les synthèses ultérieures de Paul Langevin en 1905 (4) et P. Weiss en 1907 (5) sur les corps

(3) P. CURIE, Propriétés magnétiques des corps à diverses températures, *Annales de chimie et de physique*, 7^e s., t. V, 1895, p. 289.

(4) P. LANGEVIN, Sur la théorie du magnétisme, *C. R.*, t. CXXXIX, 1905, p. 1204.

(5) P. WEISS, Sur la théorie des propriétés magnétiques du fer au-delà du point de transformation, *C. R.*, t. CXXXIV, 1906, p. 25.

magnétiques. En ce qui concerne l'interprétation de la loi de Curie on peut l'attribuer, sous sa forme appliquée, aux paramagnétiques « purs » à Langevin. Weiss, introduisant le champ moléculaire et la température de Curie θ_c , nous donnera la forme définitive de la loi de Curie-Weiss :

$$\chi = \frac{C_v}{T - \theta_c}$$

et son interprétation à partir des nouvelles théories sur la constitution de l'atome. Cette loi conserve encore aujourd'hui toute sa valeur.

Pour ce qui est du comportement des corps ferromagnétiques au-dessous de la température de Curie, les hypothèses d'Ampère-Ewing associant les aimants particulaires à des courants restent valables.

La démarche de Pierre Duhem, à propos de ces mêmes problèmes, apparaît tout à fait différente. Il convient, tout d'abord, d'indiquer le grand intérêt porté très tôt par Pierre Duhem à ces questions. Le travail de thèse présenté dès 1888 par le savant et qui lui conféra le titre de docteur ès sciences *mathématiques* — et non celui de docteur ès sciences *physique mathématique* que Duhem eût sans aucun doute souhaité — est à ce propos significatif : *Sur l'aimantation par influence* (6).

On retrouve la même approche et l'essentiel des résultats de ce travail dans l'ouvrage édité en 1891 et 1892 sous le titre *Leçons sur l'électricité et le magnétisme* (7) dont le second volume est consacré aux aimants et corps diélectriques. L'auteur est, à cette époque, maître de conférences de physique à la Faculté des Sciences de Lille. Dès l'introduction de l'ouvrage, Pierre Duhem définit l'orientation générale de son travail :

« Il s'agit d'écrire un exposé aussi *un*, aussi *logique* que possible des théories sur l'Electricité et le Magnétisme. »

« Après avoir, ajoute-t-il, pendant dix ans, médité les diverses parties de la Science électrique, nous nous sommes convaincu que tout ce qu'il y a de clair et de fécond dans cette science pouvait se grouper, avec

(6) P. DUHEM, *Sur l'aimantation par influence*, *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse*, t. II, 1888, 140 p.

(7) P. DUHEM, *Leçons sur l'électricité et le magnétisme*, 3 vol. in-8°, Paris, A. Gauthier-Villars & fils, 1891-1892 : t. I : *Les corps conducteurs à l'état permanent* (560 p.) ; t. II : *Les aimants et les corps diélectriques* (480 p.) ; t. III : *Les courants linéaires* (528 p.).

beaucoup d'ordre et d'unité, autour de quelques principes empruntés à la Mécanique et à la Thermodynamique, et c'est ce groupement que nous avons essayé d'exposer. »

Duhem précise plus loin :

« Nous nous proposons de faire fonctionner, sous les yeux du lecteur, l'instrument thermodynamique... Notre théorie nouvelle de l'aimantation par influence fondée sur la Thermodynamique nous a permis de ramener à l'unité le vaste ensemble de recherches auxquelles ces corps ont donné lieu, de les rectifier sur plusieurs points, de les compléter sur beaucoup. »

Cette application des principes de la thermodynamique aux problèmes du magnétisme s'avérera au fil des années peu commode, insuffisante, génératrice d'erreurs... Duhem en conviendra plus tard, sans pour autant considérer que la méthode puisse être mise en cause, comme nous le montrerons.

Pour déterminer les équilibres des corps aimantés, P. Duhem, s'appuyant sur les travaux de Poisson, définit d'abord le « potentiel thermodynamique interne » d'un système aimanté. Il l'établit sous la forme :

$$F = E(U - TS) + W_n + \int G(I, \alpha, \beta, \dots, \lambda, T) dv$$

E : équivalent mécanique de la calorie

U : énergie interne

T : température absolue

S : entropie du système

W_n : potentiel magnétique du système

G : fonction dépendant de I, intensité d'aimantation, des variables normales $\alpha, \beta, \dots, \lambda$, définissant l'état physique et chimique du système considéré.

L'application à cette fonction des méthodes habituelles de la thermodynamique — notamment du principe de Carnot-Clausius — aboutit à la conclusion, surprenante pour Duhem, de *l'impossibilité des corps diamagnétiques*. C'est à cette démonstration que sont consacrées cinq notes adressées à l'Académie des Sciences entre 1887 et 1889 (8) :

« Appliquer à un système magnétique la loi selon laquelle le système restera en équilibre dans un état donné si, en cet état, le potentiel total

(8) P. DUHEM, Sur l'aimantation par influence, *C. R.*, t. CV, 1887, p. 749 et 798 ; Sur la théorie du magnétisme, *ibid.*, t. CV, 1887, p. 932 ; Sur l'aimantation par influence, *ibid.*, t. CV, 1887, p. 1113 et 1240 ; Sur l'aimantation des corps diamagnétiques, *ibid.*, t. CVI, 1888, p. 736 ; Sur l'impossibilité des corps diamagnétiques, *ibid.*, t. CVIII, 1889, p. 1042.

a, à la température considérée, une valeur minimum, c'est, démontre Duhem, conclure à l'impossibilité des corps diamagnétiques. »

Pour surmonter cette contradiction entre les principes de l'énergétique et une réalité expérimentalement indéniable, Pierre Duhem reprend des hypothèses émises vers 1850 par E. Becquerel selon lesquelles :

- 1^o Tous les corps sont magnétiques.
- 2^o L'éther dans lequel baignent ces corps est également magnétique.
- 3^o Les corps sembleront pour nous magnétiques ou diamagnétiques selon qu'ils seront plus ou moins magnétiques que l'éther dans lequel ils sont plongés (9).

Notons à ce propos que, plutôt que de procéder à une telle hypothèse, Plücker n'hésite pas à mettre en cause le second principe de la thermodynamique (10).

Les raisonnements mathématiques développés par Duhem à partir de l'existence d'un éther aimanté le conduisent à considérer les corps diamagnétiques et paramagnétiques comme des matériaux de même *nature* pour lesquels les phénomènes sont, en dernière analyse, équivalents... la seule nuance importante, conclut Duhem, entre les deux types de phénomènes, apparaît dans le signe, positif pour les paramagnétiques, négatif pour les diamagnétiques, du coefficient constant qui accompagne l'expression des forces agissant sur les corps sous l'action d'un champ magnétique... Mais cela n'explique pas le comportement différent de ces corps sous l'effet de la température. A vouloir résoudre une contradiction uniquement en utilisant une hypothèse théorique, Duhem se heurte à une nouvelle incompatibilité avec la réalité, cette fois. Le savant en restera parfaitement conscient ; ces questions le préoccupèrent longtemps encore ; il les reprendra plus tard à l'occasion de ses études sur l'électromagnétisme. Dans une publication au *Journal de mathématiques* parue en 1913 (11), Duhem précise :

« Admettre que toute distribution magnétique ou électrique qui rend minimum le potentiel interne du système est une distribution d'équilibre

(9) Ed. BECQUEREL, De l'action du magnétisme sur tous les corps, *Annales de chimie et de physique*, 3^e s., t. XXVIII, 1850, p. 283.

(10) J. PLÜCKER, Ueber den Einfluss der Umgebung eines Körpers auf die Anziehung oder Abstossung, die er durch einen Magnet erfährt, *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, t. LXXVII, p. 578, 1849.

(11) P. DUHEM, Sur le diamagnétisme, *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 6^e s., t. IX, fasc. II, 1913, p. 104.

stable, c'est énoncer un postulat dont les conséquences pourraient bien être en contradiction avec les lois de l'électromagnétisme. »

Autrement dit, les mouvements et les équilibres considérés ne relèvent plus du domaine de la mécanique rationnelle. Aveu d'impuissance de ces méthodes de l'énergétique, diront certains. Pour Duhem, il s'agit plutôt du dépassement nécessaire et de l'enrichissement de la théorie physique. Dans ses derniers travaux, Pierre Duhem, traitant du problème de l'électromagnétisme en adaptant les théories d'Helmholtz — qui lui semblent plus conformes à la *logique* que celles de Maxwell —, constate qu'ainsi toute contradiction entre le diamagnétisme et la thermodynamique s'évanouit, faisant ainsi l'économie de l'hypothèse d'un éther aimanté.

* * *

Cette démarche de Duhem sur un problème ponctuel — celui du magnétisme statique — est significative de la conception scientifique du savant et des orientations qu'il impose à ses travaux. Pour le physicien français, il n'est d'autre voie pour la science que de contraindre la réalité, les phénomènes physiques à respecter de grands principes théoriques — ceux de la mécanique rationnelle et de la thermodynamique qu'il regroupe sous le vocable d'énergétique ou thermodynamique générale. A ce titre, il se situe dans un courant scientifique marqué par les promoteurs de la physico-chimie (Gibbs, Ostwald par exemple), peu développé dans notre pays à l'époque.

Représentant éminent en France de l'énergétisme, P. Duhem réclamera, devant le bouleversement scientifique et l'accumulation stupéfiante de théories nouvelles en cette fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, les droits de la « logique éternelle » et fustigera sans relâche les « audaces » de ceux qui « imprudemment » prennent avec elle quelque liberté pour tenter de mieux expliquer une réalité grosse de contradictions.

A ce titre Duhem ignorera sciemment les étonnantes révélations de la physique des particules :

« Toutes ces questions au sujet de la constitution réelle des corps ne sont pas objets de physique mais de métaphysique » s'écrie-t-il en 1911.

Et, à propos des théories du magnétisme, on ne saurait faire à Duhem le procès de n'avoir pas connu les travaux de Langevin et de Weiss. Il semble plus évident que les interprétations « atomistes » de leurs auteurs n'aient en aucune façon répondu à l'attente

du savant dont la recherche de lois *générales* reste l'objectif central.

Que la correspondance scientifique entre P. Duhem et P. Curie se limite, à notre connaissance, à cet unique échange ne nous surprend pas. Il existe, en effet, un réel antagonisme entre les conceptions de la science et les orientations de la recherche scientifique des deux savants. Un antagonisme illustré ailleurs par les querelles entre « atomistes » et « énergétistes »...

Paul BROUZENG.

APPENDICE

(Voir le fac-similé, p. 342-344)

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS
(12, rue Cuvier)

Enseignement préparatoire
au Certificat d'Etudes physiques, chimiques et naturelles

Paris, le 11 janvier 1902

Cours de
Physique

MON CHER COLLÈGUE,

Je vous remercie pour l'envoi de votre livre sur les théories de Maxwell. Je trouve qu'il serait bon que nos physiciens se montrassent à sa manière d'une *imprudence inouïe*. — Cependant je crois, comme vous, qu'il y a des choses inexactes dans les points de départ de sa théorie. En particulier la relation entre les dérivées du champ électrique et la variation de flux d'induction magnétique ne doit pas être dans le cas du vide en accord avec l'expérience.

Mais par quoi remplacer ce mode de raisonnement ? Lorsque l'on est habitué à raisonner à l'aide des flux de vecteurs et en considérant la localisation de l'énergie dans l'espace on a une répugnance extrême à revenir aux expressions purement mathématiques qui ne représentent rien physiquement. La formule d'Ampère pour l'action de 2 éléments de courant et celle de Weber sont dans ce cas.

Je suis en complet désaccord avec vous en ce qui concerne le magnétisme. — La thermodynamique nous enseigne seulement que le diamagnétisme *rémanent* est [seulement]* impossible et je me rappelle qu'il y a 20 ans déjà Gouy m'avait communiqué cette remarque. — Dans mes études expérimentales je n'ai jamais en effet rencontré le diamagnétisme rémanent. Si un corps diamagnétique renferme des traces de fer, il présentera du magnétisme rémanent de sens inverse de son magnétisme temporaire. — Enfin la théorie de Becquerel est aussi en complet désaccord avec les faits : Les phénomènes magnétiques et diamagnétiques sont certainement dus à des causes de nature tout à

fait différentes. — Ainsi le diamagnétisme ne varie [guère]* pas avec la température, tandis que les corps faiblement magnétiques ont un coefficient d'aimantation qui varie en raison inverse de la température absolue. Les coefficients d'aimantation spécifique varient dans des limites peu étendues lorsqu'on considère les divers corps diamagnétiques, tandis que ces coefficients prennent les valeurs les plus diverses pour les corps faiblement magnétiques.

Enfin il est bien remarquable que le champ magnétique dans le vide ne donne pas le phénomène du pouvoir rotatoire magnétique. (C'est là un fait d'une très grande importance théorique et qui n'est pas favorable non plus** aux idées de Faraday et de Maxwell.)

Je vous envoie, mon cher collègue, mes salutations sincères.

Signé : P. CURIE.

P. Curie, 108 Bd Kellermann,
Paris.

* Rayé dans le texte original.

** *Non plus* a été rajouté.

3 pages manuscrites 13 cm × 21 cm.

Lettre tirée de la correspondance de P. Duhem, publiée avec l'autorisation de Marie-Madeleine Gallet.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

(12, rue Cuvier)

Enseignement préparatoire au Certificat d'Études Physiques, Chimiques et Naturelles

COURS
de
PHYSIQUE

Paris, le 11 janvier 1902

Mon cher Collègue,

Je vous remercie pour l'envoi de
votre livre sur les théories de Maxwell.

Je trouve qu'il serait bon que nos
physiciens se montrassent à sa manière
d'une imprudence issue.
Cependant je crains, comme vous, qu'il
y ait des choses inexactes dans les
points de départ de sa théorie. — En
particulier la relation entre les
dérivées du champ électrique et la variation
de flux d'induction magnétique ne
doit pas être dans le cas du vide
en accord avec l'expérience.

Mais pourquoi remplacer ce mode
de raisonnement ? Lorsque l'on
est habitué de raisonner à l'aide
des flux de vecteurs et en considérant
la localisation de l'énergie dans

l'opposé on a une divergence. Le
système a renoué aux expressions
purement mathématiques qui ne
représentent rien physiquement.

Les formules d'origine pour l'action
de 2 éléments de courant et celle
de Weber sont dans ce cas. —

Je suis en complet désaccord avec
vous en ce qui concerne le
magnétisme. — La thermodynamique
nous enseigne seulement que le
diamagnétisme rémanent est seulement
impossible et je me rappelle qu'il
y a 20 ans déjà Gouy m'avait communiqué
cette remarque. — Dans mes études expérimentales
je n'ai jamais en effet rencontré le
diamagnétisme rémanent. — Si un corps
diamagnétique renferme des traces de fer
il présentera du magnétisme rémanent
de sens inverse de son magnétisme
temporaire. — Enfin la théorie
de Becquerel est aussi en complet
désaccord avec les faits: Les phénomènes
magnétiques et diamagnétiques sont
certainement dus à des causes de
nature tout-à-fait différentes. —
divisi le diamagnétisme. —

quiers pas avec la température, tandis que
les corps faiblement magnétiques ont un
coefficient d'aimantation qui varie en
raison inverse de la température absolue.
Les coefficients d'aimantation spécifique
varient dans des limites peu étendues
lorsqu'on considère les divers corps
diamagnétiques, tandis que ces coefficients
prennent les valeurs les plus diverses pour
les corps faiblement magnétiques. —

Enfin il est bien remarquable
que le champ magnétique dans
le vide ne donne pas le préliminaire
du pouvoir rotatoire magnétique.

(C'est là un fait d'une très grande
importance théorique et qui n'est
pas favorable ^{non plus} aux idées de Faraday
et de Maxwell). —

Je vous envoie, mon cher collègue,
mes salutations sincères. —

P. Curie

P. Curie — 108 Bd Kellermann
Paris