



HAL
open science

Vision physique “ éthérienne ”, mathématisation “ laplacienne ”: l'électrodynamique d'Ampère

Christine Blondel

► **To cite this version:**

Christine Blondel. Vision physique “ éthérienne ”, mathématisation “ laplacienne ”: l'électrodynamique d'Ampère. Revue d'Histoire des Sciences, 1989, 42, pp.123 - 137. 10.3406/rhs.1989.4137 . hal-04879111

HAL Id: hal-04879111

<https://hal.science/hal-04879111v1>

Submitted on 10 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Vision physique « éthérienne », mathématisation « laplacienne » : l'électrodynamique d'Ampère

MME Christine Blondel

Citer ce document / Cite this document :

Blondel Christine. Vision physique « éthérienne », mathématisation « laplacienne » : l'électrodynamique d'Ampère. In: Revue d'histoire des sciences, tome 42, n°1-2, 1989. pp. 123-137;

doi : <https://doi.org/10.3406/rhs.1989.4137>

https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_1989_num_42_1_4137

Fichier pdf généré le 08/01/2019

Résumé

RÉSUMÉ. — Si pendant plus d'un siècle Ampère a été considéré comme le créateur d'une électrodynamique newtonienne fondée sur l'action à distance, des travaux récents le présentent comme un partisan convaincu de l'éther et un opposant à la physique laplacienne. Cette divergence de perspective est éclairée ici à la fois par l'examen des tentatives d'Ampère dans le cadre de la propagation de proche en proche et par la mise en évidence des points qui le rapprochent des laplaciens. La coexistence de deux directions de recherche concurrentes dans l'œuvre du physicien, l'une majeure, l'autre mineure, est mise en relation avec les tensions entre sa vision physique des phénomènes et ses ressources mathématiques.

Abstract

SUMMARY. — Although for over a century Ampere has been considered to have created a Newtonian electrodynamics, that is, based on action at a distance, some recent works portray him as a convinced partisan of the ether and as an opponent of Laplacian physics. This divergence of viewpoints is clarified here by examining Ampere's attempts within the context of gradual propagation and by highlighting the points where his thinking coincides with the Laplacians. The coexistence of two concurrent directions of research, one major and the other minor, in the physicist's work is interrelated with the tensions between his physical vision of phenomena and his mathematical resources.

Vision physique « éthérienne », mathématisation « laplacienne » : l'électrodynamique d'Ampère

« It is a good thing to have two ways of looking at a subject, and to admit that there are two ways of looking at it. »

J. C. MAXWELL ⁽¹⁾.

RÉSUMÉ. — Si pendant plus d'un siècle Ampère a été considéré comme le créateur d'une électrodynamique newtonienne fondée sur l'action à distance, des travaux récents le présentent comme un partisan convaincu de l'éther et un opposant à la physique laplacienne. Cette divergence de perspective est éclairée ici à la fois par l'examen des tentatives d'Ampère dans le cadre de la propagation de proche en proche et par la mise en évidence des points qui le rapprochent des laplaciens. La coexistence de deux directions de recherche concurrentes dans l'œuvre du physicien, l'une majeure, l'autre mineure, est mise en relation avec les tensions entre sa vision physique des phénomènes et ses ressources mathématiques.

SUMMARY. — *Although for over a century Ampere has been considered to have created a Newtonian electrodynamics, that is, based on action at a distance, some recent works portray him as a convinced partisan of the ether and as an opponent of Laplacian physics. This divergence of viewpoints is clarified here by examining Ampere's attempts within the context of gradual propagation and by highlighting the points where his thinking coincides with the Laplacians. The coexistence of two concurrent directions of research, one major and the other minor, in the physicist's work is inter-related with the tensions between his physical vision of phenomena and his mathematical resources.*

A partir de 1820, un nouveau domaine s'ouvre en physique à la mathématisation, celui des interactions entre courants électriques ou entre courants et aimants. Cette perspective est ressentie comme un défi par les physiciens français pendant cette période où une physique fondée sur des attractions et répulsions entre fluides ou matière sur le modèle newtonien cède le pas, notamment en optique

⁽¹⁾ J. C. Maxwell à propos des deux approches de l'électromagnétisme (action à distance ou propagation de proche en proche), *On Faraday's lines of forces*, 1855, in *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, ed. W. D. Niven (Cambridge, 1890), vol. 1, 208.

et en théorie de la chaleur, à une physique fondée sur des propagations de proche en proche ⁽²⁾. En ce qui concerne l'électromagnétisme, les principaux acteurs se laissent assez facilement classer suivant cette ligne de démarcation : d'un côté, les disciples de la « physique laplacienne », partisans de l'action à distance, avec Laplace lui-même, Biot, Poisson, Pouillet et de l'autre les partisans de la propagation par l'intermédiaire du milieu remplissant l'espace avec Faraday, Fresnel, Arago, et dans une certaine mesure Ørsted. La position d'Ampère est beaucoup moins claire : il fut perçu tantôt comme un strict continuateur de la tradition newtonienne, tantôt comme un opposant à cette tradition. Je voudrais éclairer ici cette divergence de perspective en montrant comment chaque interprétation a pu trouver à s'alimenter dans l'œuvre d'Ampère. Se pose alors le problème de l'existence à l'intérieur d'une même œuvre de deux directions de recherche antagonistes.

DES IMAGES CONTRADICTOIRES

Un excellent révélateur de la complexité de la position d'Ampère est fourni par les diverses images qu'il a pu susciter. Si aux yeux d'Ørsted à Copenhague, Faraday à Londres ou Erman à Berlin, Ampère est l'auteur d'une théorie hautement mathématisée appartenant au même registre que celles de Laplace ou Poisson, le point de vue d'un participant aux séances de l'Académie des Sciences est tout autre. A Paris, Ampère est celui qui, après avoir été un ardent défenseur de la théorie ondulatoire de la lumière de Fresnel avec Arago, s'oppose à Biot, Poisson et Pouillet dans l'explication des phénomènes électromagnétiques. Il est celui qui boute hors du champ de la science la théorie newtonienne des fluides magnétiques de Coulomb et n'hésite pas à évoquer l'éther comme support de sa théorie.

Au cours du XIX^e siècle, l'image bascule complètement et Ampère, sur le témoignage de sa *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience*, est considéré comme le père de l'électrodynamique fondée sur l'action à distance.

⁽²⁾ Sur la physique laplacienne, voir R. Fox, *The Rise and Fall of Laplacian Physics, Historical Studies in the Physical Sciences*, 4 (1974), 89-136, et E. Frankel, *J.-B. Biot and the Mathematization of Experimental Physics in Napoleonic France*, *ibid.*, 8 (1977), 33-72.

Héritiers et rivaux mettent cette lecture au service de leur propre projet scientifique ou épistémologique. Certes le titre de « Newton de l'électricité » que lui décerne Maxwell est une marque de reconnaissance du caractère fondamental de son œuvre (3). Mais en même temps il souligne sa limitation essentielle aux yeux de Maxwell qui est pleinement conscient que sa théorie des champs évince celle d'Ampère : être de type « newtonien ». Cette image d'Ampère newtonien a été mise en avant aussi bien en France sous l'influence des physiciens français de la fin du XIX^e siècle, en particulier de Duhem qui a brandi son œuvre comme porte-drapeau épistémologique et national face aux accomplissements des physiciens anglais qu'en Allemagne où, à partir de cette même œuvre, furent développées, en particulier par W. Weber, des théories électrodynamiques reposant sur l'attraction et la répulsion à distance entre charges électriques. Ainsi, pendant un siècle, Ampère est avant tout l'auteur d'une théorie physico-mathématique où les phénomènes électromagnétiques et magnétiques sont déduits par les moyens de l'analyse d'une formule élémentaire donnant la force d'interaction à distance entre éléments de courants. Poursuivant cette tradition, l'historien A. E. Woodruff écrivait en 1962 que les travaux d'Ampère représentaient avec ceux du physicien allemand Weber « la mise en œuvre conséquente du programme newtonien » (4).

Dans les études récentes, un nouveau renversement se fait jour. J. Hofmann, dans son analyse de l'indifférence d'Ampère face à une expérience manifestant un phénomène d'induction — l'induction fut réellement mise en évidence par Faraday dix ans plus tard —, le présente comme celui qui, par sa recherche révolutionnaire, « porta le coup de grâce à la physique laplacienne » (5). Soulignant l'importance des contacts personnels et intellectuels entre Ampère et les opposants à la physique laplacienne, K. Caneva le décrit comme un « éthérien » convaincu (6). Dans cette perspective, les affirmations positivistes d'Ampère ainsi que la présentation

(3) J. C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism* (Oxford, 1873 ; 2^e éd. 1881), t. 2, 175.

(4) A. E. Woodruff, Action at a distance in 19th century electrodynamics, *Isis*, 53 (1962), 439-459.

(5) J. R. Hofmann, Ampère, Electrodynamics and Experimental Evidence, *Osiris*, 3 (1987), 45-76 (47).

(6) K. L. Caneva, Ampère, the Etherians and the Oersted Connection, *British Journal for the History of Science*, 13 (1980), 121-138.

de sa théorie sous une forme newtonienne sont considérées comme essentiellement une réponse aux normes de la communauté scientifique parisienne.

Comment comprendre cette double lecture ? Certes, les sources d'information accessibles, ou privilégiées, diffèrent. Les contemporains sont les témoins directs des conflits interpersonnels, un demi-siècle plus tard seule parle l'œuvre imprimée (essentiellement la *Théorie mathématique...*), tandis qu'aujourd'hui correspondance et manuscrits sont scrutés avec attention.

Je voudrais pour ma part poser cette ambivalence comme inscrite au cœur du travail d'Ampère sur l'électrodynamique et essentielle à sa compréhension. La question n'est plus alors seulement de double lecture, mais de double discours. Ampère a tenu deux langages concurrents et à l'époque inconciliables, celui de la physique laplacienne et celui de la physique de l'éther et il est impossible d'occulter l'un des deux si l'on tient compte de l'ensemble de ses écrits. Il n'a pas seulement, comme nombre d'autres scientifiques du XIX^e siècle, fait coexister spéculations et recherches positives ou exposé deux solutions alternatives. Il a travaillé de manière concomitante dans deux cadres physiques opposés. Ces recherches parallèles n'ont pas eu le même aboutissement : l'une a abouti à une théorie physico-mathématique qui a marqué la physique pour un demi-siècle, l'autre est restée dans l'ombre. Mais, comme on va le voir, le travail accompli dans l'ombre est loin d'être négligeable.

Cependant cette dernière recherche, discontinuée dans le temps et disparatée par ses méthodes, n'a mené qu'à des produits inachevés ou insatisfaisants pour leur auteur. En tant que membre de la classe de mathématiques de l'Institut et professeur d'analyse et de mécanique à l'École polytechnique, Ampère ne peut présenter une théorie critiquable sur le plan de la rigueur mathématique. La vive compétition avec les défenseurs déclarés des théories newtoniennes, Biot et Poisson, lui interdit de communiquer les à-peu-près, les intuitions physiques, les convictions intimes. Elle lui impose également des critères d'efficacité et de rapidité. Ainsi ses déclarations de foi newtonienne doivent être comprises dans le cadre d'une stratégie de réponse aux attaques qu'il a subies au début de ses recherches. Il lui était alors reproché de faire intervenir des angles dans une formule élémentaire, d'écarter la théorie magnétique de Coulomb et de faire intervenir d'hypothétiques courants dans les aimants. Mais surtout de se trouver sur le chemin de Biot... Ses affirmations

positivistes peuvent ainsi être conciliées avec son réalisme et sa recherche d'une ontologie fondée sur l'éther.

Mais au titre des forces maintenant cette tension entre une vision physique accordant une place essentielle à l'espace et une mathématisation de l'action à distance, je voudrais insister ici sur les rapports qu'entretiennent physique et mathématiques chez Ampère. La question a été clairement posée par K. Caneva : « On se demande vraiment quelle était la relation entre la théorie mathématique d'Ampère et sa vision physique du monde. » (7)

LA VISION PHYSIQUE EN FAVEUR DE L'ÉTHÉR

Si, comme l'a souligné J. Heilbronn, « discomfort with postulating actions over macroscopic distances is endemic among physicists » (8), le malaise se radicalise en refus chez Ampère. Sa conviction intime est parfaitement claire d'après sa correspondance. Par exemple : « Je ne doute guère, écrit-il à son ami genevois Gaspard de La Rive en 1824, que les attractions et répulsions des courants électriques ne soient, comme l'attraction (newtonienne), un résultat des mouvements du fluide qui remplit tout l'espace » et qui ne peut être, précise-t-il ailleurs, que celui dont les vibrations constituent la lumière (9).

Mais Ampère n'a pas simplement adhéré au modèle de l'éther. Il ne s'est pas contenté d'exprimer dans la sphère du privé ses intuitions sur la réalité ultime des phénomènes électromagnétiques et de soutenir dans la sphère publique les auteurs de théories qui, dans d'autres domaines de la physique, allaient dans le même sens. Quoique exprimée de manière épisodique, la volonté de traduire concrètement ce choix en faveur de l'éther traverse toute son œuvre. Celle-ci est comme encadrée par deux travaux qui tentent d'introduire la propagation de proche en proche en physique, le premier en 1801 dans l'électricité et le magnétisme, le dernier en 1835 dans la théorie de la chaleur (10).

(7) *Ibid.* (n. 6), 122.

(8) J. Heilbronn, *The electrical field before Faraday*, in *Conceptions of ether, Studies in the history of ether theories 1740-1900*, eds. G. N. Cantor and M. J. Hodge (Cambridge Univ. Press : 1981), 188.

(9) *Correspondance du Grand Ampère*, éd. L. de Launay (Paris, 1936), vol. II, 658.

(10) Ampère, Note sur la chaleur et la lumière considérées comme résultant de mouvements vibratoires, *Annales de Chimie et de Physique*, 58 (1835), 432-444.

L'appel à la dynamique des fluides

La première tentative d'Ampère ne manque pas d'envergure. Jeune autodidacte provincial, il travaille, vingt ans avant la découverte de l'électromagnétisme, à un mémoire qui non seulement doit intégrer l'électricité et le magnétisme au sein de la mécanique, mais encore relier toutes les parties de la physique. A la séance de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon où il présente ce mémoire en 1801, Volta se contente pour sa part de montrer des expériences en faveur de son identification entre le fluide électrique et le fluide galvanique.

Le point de départ d'Ampère est une critique radicale des théories électriques à un ou deux fluides, en particulier celle de Coulomb qui règne à Paris, à cause de « la supposition même d'une action entre des corps qui ne se touchent pas »⁽¹¹⁾. Son système repose sur un principe opposé. Les actions électriques se propagent de proche en proche grâce à la seule force élastique des fluides électriques qui forment des atmosphères autour de chaque molécule : « On doit s'occuper uniquement de l'action de chaque molécule de matière sur celles qui l'entourent immédiatement. »⁽¹²⁾ Les feuilles éparses qu'on peut dater de cette période témoignent de ces réflexions sur les interactions entre atmosphères voisines et sur le rôle que le calorique pourrait jouer. L'ambition d'établir de nouveaux fondements dans les sciences, le désir de synthèse, d'unification au sein de la physique sont alors chez Ampère en profonde résonance avec les préoccupations de la petite société philosophique et religieuse qu'il a fondée avec quelques amis. Ainsi « l'attraction unique, universelle et constante » à laquelle il veut ramener tous les phénomènes physiques voit ses attributs justifiés par la volonté de Dieu. Mais le mémoire ne fut jamais achevé... et dans son Introduction, le jeune et obscur professeur particulier de mathématiques avoue : « Il ne manque plus pour cela qu'un génie capable d'y appliquer le calcul qui a produit tant de merveilles entre les mains des mathématiciens modernes. »

⁽¹¹⁾ Archives de l'Académie des Sciences, carton X, chemise 203, reproduit dans C. Blondel, *Ampère et la création de l'électrodynamique* (Paris : Bibliothèque Nationale, 1982), 175.

⁽¹²⁾ *Ibid.*, 176.

Ainsi dès ce premier travail — ce premier abandon —, on remarque d'une part une forte intuition physique, liée par l'auteur lui-même à une vision religieuse du monde, et d'autre part la conscience aiguë des possibilités opératoires nécessaires en fonction de l'objectif ultime, une théorie mathématisée.

La découverte par Ørsted en 1820 de l'influence du courant électrique sur une aiguille aimantée est un élément d'une nouveauté cruciale pour les anciens projets d'unification entre électricité et magnétisme d'Ampère. Certes, il donne la priorité à la recherche de la formule d'interaction entre éléments de courants qui, grâce à l'hypothèse de l'existence de courants électriques à l'intérieur des aimants, doit permettre cette unification. Mais en même temps il cherche comment l'attraction exercée par un courant sur un courant parallèle pourrait se propager dans l'espace intermédiaire. Une première hypothèse, faisant appel à la mécanique, est suggérée à l'époque de sa collaboration avec Fresnel. Fin 1820, ce dernier décrit son éther lumineux comme formé de couches de molécules susceptibles de glisser l'une contre l'autre et de transmettre ainsi les vibrations transversales de la lumière. Ampère de son côté propose une transmission du mouvement des fluides électriques depuis les conducteurs vers le fluide neutre qui les entoure ; ensuite « les mouvements excités dans ce fluide s'y propagent par une sorte de frottement des couches déjà en mouvement sur celles qui ne le sont pas » (13). L'analogie est évidente et soulignée par Ampère lui-même. L'espoir de jeunesse d'établir l'électrostatique et le magnétisme sur la dynamique des fluides s'étend à la nouvelle électrodynamique et la nouvelle optique. Les divers types de mouvements à l'intérieur de l'éther — vibratoire, de translation ou de rotation — devant rendre compte respectivement de l'optique, de l'électrodynamique et du magnétisme. Mais excepté une ou deux allusions dans les textes imprimés d'Ampère, les quelques références dans ses manuscrits à un éther agissant par ses propriétés mécaniques restent programmatiques.

Quelle que soit la force de conviction résultant du parallélisme entre l'éther lumineux et l'éther électrique, une « preuve » même

(13) Exposé sommaire des nouvelles expériences électromagnétiques faites par différents physiciens, depuis le mois de mars 1821, in *Recueil d'observations électrodynamiques*, 1822, reproduit dans *Collection de mémoires relatifs à la physique publiés par la Société française de Physique*, éd. J. Joubert, t. II (1885), 250-251.

pour Ampère, il ne développe pas cette ébauche de modèle. L'argument est le même que vingt ans auparavant :

« Je ne me suis jamais dissimulé que, faute de moyen pour calculer tous les effets des mouvements des fluides, (ces considérations) étaient trop vagues pour servir de base à une loi dont l'exactitude pouvait être constatée par des expériences directes et précises. » ⁽¹³⁾

De fait, la dynamique des fluides ne sait alors traiter que des mouvements de fluides simples, en particulier sans tourbillons. Cauchy, qui enseigne avec Ampère l'analyse à l'École polytechnique, commence seulement à forger les outils mathématiques nécessaires à l'étude des rotations dans les milieux continus. Cette voie est alors définitivement abandonnée par Ampère.

L'éther électrique

Après ce deuxième échec du recours à la mécanique, Ampère se tourne vers sa théorie du courant électrique pour fournir un support à l'éther. Dans cette théorie, comme pour Berzelius, chaque atome est supposé posséder une charge propre : positive pour les corps électro-positifs (hydrogène, métaux...), négative pour les corps électro-négatifs (oxygène, chlore...). L'éther, constitué par la réunion des deux fluides électriques opposés, est électriquement neutre. La neutralité des atomes, quant à elle, est assurée par une atmosphère sphérique de signe opposé à leur charge propre et formée par une décomposition partielle du fluide neutre environnant. A l'aide de ce modèle sont expliquées la conduction dans les métaux et l'électrolyse grâce à des propagations de décompositions et recompositions des fluides opposés. Ce modèle est très proche de celui proposé par Ørsted en 1806 ⁽¹⁴⁾.

Lorsque Ampère présente cette théorie, qui est en même temps une théorie de la structure de la matière, aux auditeurs de sa première année d'enseignement au Collège de France en 1824, il ne la

⁽¹⁴⁾ Le mémoire d'Ampère, « Sur le mode de transmission des courants électriques et la théorie électro-chimique », fut publié après sa mort, en 1839, par l'abbé F. Moigno dans son *Traité de télégraphie électrique* (Paris, 1839), 222-240, reproduit dans C. Blondel, *op. cit.*, n. 11, 177-186. Ørsted, Sur la propagation de l'électricité, *Journal de Physique*, 62 (1806), 369. La similitude entre les deux modèles atteint jusqu'aux lettres qui figurent sur les schémas des deux mémoires. Il est clair qu'Ampère a réétudié attentivement les travaux d'Ørsted après la découverte de l'électromagnétisme.

met pas au service de l'électrodynamique. Par contre, il l'utilise pour expliquer la propagation des vibrations lumineuses de l'optique ondulatoire. Sans doute la situation y était-elle plus simple : l'éther est seul présent dans l'espace. Dans les interactions entre courants sont à considérer les multiples interactions entre charges propres, atmosphères et molécules de fluide neutre décomposé. Par contre, au sein de l'éther uniforme qui remplit l'espace, de simples décompositions successives de molécules de fluide neutre se produisant suivant une direction perpendiculaire à celle de la propagation permettent à Ampère d'affirmer que « la considération des forces électriques peut (...) servir à expliquer jusqu'à un certain point la propagation de la lumière »⁽¹⁵⁾. Mais le texte du mémoire correspondant ne fut pas publié du vivant d'Ampère. Une ébauche de plus.

Paradoxalement, c'est le travail newtonien de Poisson sur le magnétisme en 1824 mettant en parallèle du point de vue mathématique la gravitation, l'électrostatique et le magnétisme, qui entraîne Ampère dans une nouvelle approche de la propagation des effets électromagnétiques. En effet, dans son mémoire, Poisson a introduit un nouveau type de distribution de fluides magnétiques, les distributions en surface. Ampère, qui estime avoir éliminé les fluides magnétiques, se doit de trouver l'équivalent électrique de ces surfaces magnétiques. Décomposant par la pensée, grâce à un quadrillage, un circuit fermé en circuits infiniment petits répartis sur une surface ayant le circuit pour contour, il montre qu'on peut remplacer le circuit fermé par autant d'aimants élémentaires que de petits circuits. Ces aimants élémentaires, répartis sur une surface quelconque s'appuyant sur le circuit, constituent deux surfaces magnétiques au sens de Poisson. Il a ainsi atteint l'objectif de Biot, et de nombreux autres physiciens, en définissant quelle répartition d'aimants élémentaires est équivalente à un conducteur parcouru par un courant. Mais tandis que les autres physiciens avaient cherché des distributions d'aimants à l'intérieur du conducteur, Ampère montre qu'il faut placer les aimants à l'extérieur du conducteur, dans l'espace enserré par le circuit.

L'équivalence entre un circuit électrique et un « feuillet magnétique » formé de deux couches magnétiquement opposées infiniment voisines, s'appuyant sur le contour défini par le circuit, figure en

⁽¹⁵⁾ Ampère, *op. cit.*, n. 14, reproduit dans F. Moigno, *Traité de télégraphie électrique* (Paris, 1839), 238.

bonne place dans le traité d'Ampère. Les conséquences qu'il en tire sont par contre demeurées dans un mémoire publié dans une revue hollandaise de diffusion limitée ⁽¹⁶⁾. L'équivalence entre un circuit fermé et une surface s'appuyant sur le circuit sur laquelle sont disposés perpendiculairement des aimants élémentaires étant valable pour toute surface limitée par le circuit, Ampère en déduit que l'action du circuit est équivalente à « des éléments magnétiques disposés dans l'espace suivant des lignes d'aimantation qui coupent partout à angles droits ces surfaces ».

L'équivalence proposée entre un circuit électrique et des lignes d'aimants dans l'espace n'est pas définie de manière univoque du point de vue mathématique. Cependant, il est bien clair pour Ampère qu'il n'y a qu'une seule solution physique : à un circuit donné correspond un seul réseau de lignes d'aimantation. En effet, dans le cas des aimants, ces lignes s'identifient aux lignes magnétiques usuelles. Dans le cas d'un circuit, ce sont donc les lignes du champ magnétique créé par le circuit. Ainsi un circuit électrique est mathématiquement équivalent à un ensemble d'aimants élémentaires. Mais Ampère va bien au-delà de l'équivalence mathématique. Il affirme que ces lignes d'aimants contigus sont effectivement créées dans l'espace enserré par le conducteur. Par une démarche radicalement différente de celle de Faraday, Ampère aboutit ainsi à la même affirmation d'une modification physique de l'espace. Cependant les fluides magnétiques n'ont pas de place dans la théorie électrodynamique. Les aimants élémentaires ont servi d'intermédiaire permettant de visualiser les lignes d'aimantation et en fin de raisonnement Ampère leur substitue leur équivalent électrique, c'est-à-dire des boucles de courant perpendiculaires à l'axe de chaque aimant. Ainsi, lorsqu'un circuit est relié à une pile, les décompositions et recompositions de fluides produites dans le conducteur créent des décompositions semblables dans le fluide neutre environnant. Sous forme de boucles de courant elles se propagent de proche en proche à tout l'espace. Mais Ampère en reste là : il n'y a pas de définition mathématique de ces surfaces ou de ces lignes.

⁽¹⁶⁾ Voir Extrait d'un mémoire sur l'action exercée par un circuit électrodynamique... lu à l'Académie royale des Sciences dans sa séance du 21 novembre 1825, *Correspondance mathématique et physique des Pays-Bas*, 2 (1826), 35-47 reproduit dans *Mémoires* (n. 13), t. III, 203-216 (spéc. 211-216) et *Théorie mathématique...*, dans *Mémoires*, t. III, 170.

UNE MATHÉMATISATION LAPLACIENNE

Toutes les tentatives d'Ampère pour traduire *mathématiquement* sa vision physique se sont donc soldées par un échec. La mathématisation de la propagation de proche en proche avait montré toutes ses potentialités en optique. Elle se révèle impuissante entre les mains d'Ampère dans le domaine de l'électrodynamique. Pour lui la cause est claire. S'il y a insuccès, c'est que « la dynamique des fluides et les propriétés particulières de celui qui remplit l'espace sont bien loin d'être assez connues pour qu'on puisse calculer les effets de ces mouvements » (17). Outre l'imprécision du modèle physique, ce serait le manque de développement de l'hydrodynamique, c'est-à-dire finalement des mathématiques, qui empêcherait le physicien de développer la vision physique qui a sa faveur. Il est vrai que le premier mémoire de Maxwell sur l'électricité et le magnétisme de 1855 est pour l'essentiel un travail de dynamique des fluides et s'appuie sur le calcul vectoriel mis au point entre les années 1830 et 1850. Au début des années 1820, Cauchy n'en est qu'aux liminaires dans ce domaine.

On peut toutefois se demander si l'adoption par Ampère des méthodes de la physique laplacienne procède uniquement de l'insuffisance des outils mathématiques. Après tout, à la même époque, Faraday parvient à développer sa vision de l'électromagnétisme où la propagation de proche en proche joue un rôle central. En outre, Ampère, mathématicien confirmé et parfaitement averti des travaux de Cauchy, n'a fait aucune tentative pour participer à l'élaboration des nouveaux outils mathématiques qui lui étaient nécessaires. Bien plus : cet « éthérien » a consacré des années de travail mathématique aux conséquences analytiques d'une formule newtonienne. Si Ampère ne fut pas éthérien seulement en intentions, mais aussi en actes, parallèlement, il ne fut pas laplacien que de façade ou de convention. D'ailleurs, lorsqu'il publie son traité, en 1826, la communauté scientifique ne réclame plus de lui un acte d'allégeance newtonienne. La puissance du groupe laplacien est nettement affaiblie. Après avoir perdu face à Fourier dans l'élection du secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences en 1823, Biot s'est retiré

(17) Lettre d'Ampère à A. de La Rive, 2 juillet 1824, *Correspondance du Grand Ampère*, éd. L. de Launay (Paris, 1936), vol. II, 658.

de la scène parisienne. Poisson est de plus en plus marginalisé, en particulier dans sa controverse avec Navier, et Laplace, à quelques mois de la mort, n'est plus le grand patron de la physique française qu'il était quelques années plus tôt. L'optique ondulatoire de Fresnel, la théorie de la chaleur de Fourier et celle de l'élasticité de Navier ont triomphé. Arago qui fut le plus vif défenseur d'Ampère face à ses détracteurs, contrôle la revue la plus importante, les *Annales de Chimie et de Physique*, et jouit d'une grande autorité à l'Académie des Sciences. Si Ampère persiste à saluer l'œuvre de Newton comme le guide de ses recherches, c'est que sa marque demeure très prégnante pour lui.

Certes les différences de méthode entre Ampère et les laplaciens existent ⁽¹⁸⁾. Mais les parentés sont également nombreuses. Tout d'abord Ampère fut nourri du même lait que ses opposants parisiens. A dix-huit ans, il consacrait ses journées à refaire tous les calculs de la *Mécanique analytique* de Lagrange, à trente ans il consumait ses nuits à préparer des mémoires sur les équations différentielles pour entrer dans la classe de mathématiques de l'Académie des Sciences et à quarante-cinq ans c'est la rédaction de ses cours de mathématiques à l'Ecole polytechnique qui l'empêche de travailler comme il le voudrait à l'électrodynamique. Si les mathématiques ne lui sont plus guère source de plaisir, elles demeurent sa pratique quotidienne. Il partage avec Laplace, Biot et Poisson la même fascination pour l'accomplissement réalisé en mécanique grâce à l'analyse. Tous souscrivent à la même conviction que les phénomènes physiques ne sont réellement maîtrisés que lorsqu'ils ont été soumis « aux procédés du calcul intégral » ⁽¹⁹⁾.

Les apparentements se retrouvent jusque dans les pratiques de recherche. Ainsi pour déterminer sa formule, Ampère utilise la même méthode que Laplace dans l'étude de la capillarité, partant d'une fonction indéterminée dont il précise peu à peu les caractéristiques ⁽²⁰⁾. Comme Biot, il a recours dans cette démarche à des intuitions trigonométriques élémentaires. Leurs raisonnements sont parallèles, l'un concernant la force élémentaire entre deux éléments de courants, l'autre celle entre un élément de courant et un pôle

⁽¹⁸⁾ Voir T. Hashimoto, Ampère vs Biot : Two Mathematizing Routes to Electromagnetic Theory, *Historia Scientiarum*, 24 (1983), 29-51.

⁽¹⁹⁾ A.-M. Ampère, Note relative au mémoire de M. Savary, in *Recueil d'observations électrodynamiques* (Paris, 1922), 360.

⁽²⁰⁾ Voir dans ce même volume l'article de J. Dhombres.

magnétique : si la force est une attraction maximale lorsque l'angle de variation vaut $+90^\circ$, une répulsion maximale lorsqu'il vaut -90° et qu'on peut la supposer nulle lorsque l'angle est nul, Ampère et Biot en déduisent aussitôt que la force est proportionnelle au sinus de l'angle considéré ⁽²¹⁾. C'est en faisant appel à ce même type de raisonnement que chacun établit sa formule quelques mois après la découverte d'Ørsted. Ils sont d'ailleurs tous deux pris au piège de leur intuition lorsque leurs résultats expérimentaux ne confortent pas ces intuitions trigonométriques. Ils font alors, l'un comme l'autre, davantage confiance à ces dernières. Enfin, la portée accordée aux analogies mathématiques entre formules relatives à divers domaines de la physique est encore un trait qui rapproche Ampère des laplaciens ⁽²²⁾.

Et lorsque Faraday exprime ses critiques à l'égard de la théorie d'Ampère en 1821, lui reprochant de faire des hypothèses *ad hoc*, en particulier sur l'existence de courants à l'intérieur des aimants, Ampère se replie sur le terrain qui est le sien : les mathématiques ⁽²³⁾.

Mais les accomplissements mathématiques ne restent pas sans effet en retour sur la vision physique. Si, en 1824, Ampère semble convaincu de l'avenir du modèle de l'éther appuyé sur la dynamique des fluides, deux ans plus tard cette conviction est beaucoup moins nette. Lorsqu'il reprend diverses notes et mémoires pour la synthèse de ses travaux que constitue la *Théorie mathématique...*, il supprime d'un de ces textes le passage où il exprime à la fois cette conviction et ses regrets concernant l'état d'avancement de la dynamique des fluides ⁽²⁴⁾. En lieu et place, il expose en détail l'hypothèse concurrente où l'attraction entre deux éléments de courants pourrait être déduite des attractions et répulsions de Coulomb entre les fluides électriques qui se séparent et se réunissent dans les conducteurs. Et

⁽²¹⁾ Voir C. Blondel, n. 11, 55-58, 83-85.

⁽²²⁾ Pour Biot, c'est l'analogie entre la force de gravitation et celles de Coulomb ; pour Ampère celle entre sa formule et celle sur la transmission de la chaleur rayonnante entre deux surfaces élémentaires.

⁽²³⁾ Sur l'attitude de Faraday envers Ampère, voir L. P. Williams, *Faraday and Ampère : a Critical Dialogue*, in *Faraday rediscovered : Essays on the Life and Work of Michael Faraday 1791-1867*, eds. D. Gooding and F. James (New York, 1985), 83-104.

⁽²⁴⁾ Le passage supprimé se trouve dans la note B du *Précis de la théorie des phénomènes électro-dynamiques pour servir de supplément au « Recueil d'observations électro-dynamiques » et au « Manuel d'électricité dynamique » de M. de Monferrand* (Paris, 1824) et reproduit dans *Mémoires* (n. 13), t. III, 106.

à propos de cette dernière hypothèse, il conclut : « Cette explication du fait fondamental de toute la théorie des phénomènes électrodynamiques (l'attraction entre deux courants) devrait évidemment être préférée à toute autre. » ⁽²⁵⁾ En particulier celle fondée sur l'éther... Ce dernier est délaissé : « Sans qu'on soit autorisé à rejeter les explications fondées sur la réaction de l'éther mis en mouvement par les courants électriques, rien n'oblige jusqu'à présent d'y avoir recours. » ⁽²⁶⁾ Pourtant aucun élément nouveau n'est intervenu en défaveur de l'éther. Mais la performance mathématique accomplie — déduire toutes les lois connues sur les interactions entre aimants et courants d'une formule élémentaire — éclipse toute perspective incertaine.

Ainsi la marque d'une formation initiale où les mathématiques jouent le rôle essentiel, le poids des mécanismes intellectuels mis en place par une pratique professionnelle — l'enseignement de l'analyse au plus haut niveau — et l'appartenance à une communauté dont les membres, par-delà leurs diverses visions physiques, s'accordent sur une même perception du rôle des mathématiques en physique ont pu entraîner un physicien à développer mathématiquement une théorie physique dont il récuse les fondements. Bien plus, le succès de la mathématisation laplacienne finit par ébranler la vision physique éthérienne. Si Ampère conserve toujours l'espoir que l'on parvienne à déduire sa formule de phénomènes plus élémentaires, mouvements de l'éther ou actions entre fluides, son programme de recherche — fournir une théorie mathématique d'une nouvelle catégorie de phénomènes — a été accompli. L'éther n'est qu'une des modalités possibles à l'intérieur de ce programme. Un enjeu supérieur est ailleurs, dans l'unification de plusieurs domaines de la physique, dans la fondation d'une nouvelle branche des connaissances. Même la découverte de l'induction par Faraday en 1831 et ses intuitions sur le rôle du milieu dans la propagation des phénomènes électromagnétiques ne réveillent pas l'intérêt d'Ampère pour le sujet. Après avoir réalisé l'unification entre l'électricité, le magnétisme et l'électromagnétisme, et constaté l'échec de l'exploration des voies de l'unification avec l'optique, Ampère a réalisé son projet. On comprend mieux pourquoi il se désintéresse de l'électromagné-

⁽²⁵⁾ A.-M. Ampère, *Théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques...*, *Mémoires* (n. 13), t. III, 116.

⁽²⁶⁾ *Ibid.*, 171.

tisme à partir de 1827 pour ne plus se consacrer qu'à une immense classification des sciences, sans cesse remise sur le chantier, où non seulement les différentes branches de la physique mais toutes les connaissances humaines doivent être unifiées par l'analyse de leurs objets et de leurs méthodes ⁽²⁷⁾.

Christine BLONDEL.

CNRS - Cité des Sciences et de l'Industrie.

⁽²⁷⁾ Ampère, *Essai sur la philosophie des sciences, ou exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*, 2 vol. (Paris, 1834-1843).