

Ampère, 200 ans⁽¹⁾

Partie 1 : le contexte historique⁽²⁾

par Hélène FISCHER
Institut Jean Lamour
Unité mixte de recherche
CNRS - Université de Lorraine
54011 Nancy Cedex
helene.fischer@univ-lorraine.fr

DÈS 1801, AMPÈRE A L'INTUITION fulgurante que magnétisme et courant électrique sont deux facettes différentes du même phénomène. En 1820, sa vie est bouleversée par l'expérience d'Ørsted. Pour en proposer une explication, Ampère suppose avec audace l'existence de courants électriques dans les aimants. Avec frénésie, il n'a alors cesse de concevoir de nouveaux dispositifs expérimentaux pour prouver la véracité de son hypothèse et établir la formule élémentaire et universelle qui fera de lui le « Newton de l'électricité ».

INTRODUCTION

Cet article consacré à la découverte de l'électrodynamique par André-Marie Ampère est scindé en deux parties : la première a pour objectif de décrire le paysage scientifique de ce début de XIX^e siècle, en particulier dans les domaines de l'électricité et du magnétisme. Ce contexte historique souligne la singularité d'André-Marie Ampère alors qu'il développe dès 1801 une pensée scientifique propre. Cette première partie de l'article est donc aussi l'occasion de présenter cet homme exceptionnel qu'est André-Marie Ampère, et de proposer un bref aperçu des deux périodes très fécondes de sa vie consacrées à l'électromagnétisme, qui feront l'objet de la deuxième partie de cet article.

1. LE CONTEXTE HISTORIQUE

1.1. La conception de l'électricité à la fin du XVIII^e siècle

Au siècle des Lumières, l'électricité est une science qui se donne en spectacle dans de grands salons réunissant savants et amateurs. Progressivement, au cours du siècle, le

(1) *NDLR* : nous remercions la Société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication de nous avoir donné l'autorisation de reproduire cet article qui est paru dans *La Revue 3EI* n° 100 d'avril 2020 (p. 12–23). Cet article en est très largement inspiré.

(2) *NDLR* : la partie 2 de cet article paraîtra dans *Le Bup* n° 1044 en mai 2022.

concept d'électricité devient sujet à débats : on ne parvient alors pas à savoir s'il existe une seule ou plusieurs espèces d'électricité. Plusieurs conceptions émergent : celle à un fluide unique prévaut en Angleterre avec Cavendish, alors qu'en Italie, Volta parle d'atmosphères électriques et qu'en France, c'est la conception à deux fluides, l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, qui l'emporte. Ces diverses conceptions vont même cohabiter jusqu'à la fin du XIX^e siècle.

Mais en fait, le débat majeur de la fin du XVIII^e siècle porte plutôt sur les explications à apporter aux phénomènes électriques et magnétiques observés. Se côtoient alors deux types d'approches : l'approche cartésienne selon laquelle les phénomènes électriques seraient dus à des actions de contact comme le prouvent les effluves de matière subtile ou autres atmosphères électriques, et l'approche newtonienne selon laquelle ces mêmes phénomènes seraient uniquement dus à des actions attractives ou répulsives s'exerçant à distance, sans intermédiaire matériel. Simultanément, la question des rapports entre électricité et magnétisme interroge : on se demande en particulier s'il existe une véritable analogie entre la force électrique et la force magnétique.

1.2. Les travaux de Coulomb et Poisson



Charles-Augustin Coulomb
(1736-1806)

C'est dans ce contexte qu'émergent les travaux de Charles-Augustin Coulomb (1736-1806). Celui-ci est partisan d'une approche newtonienne à deux fluides et mène une démarche expérimentale d'une rigueur et d'une précision extrêmes grâce notamment au développement de nouveaux dispositifs expérimentaux comme la balance de torsion. Il montre ainsi que les forces électriques s'exerçant entre deux charges ponctuelles suivent une loi d'action à distance en $1/d^2$. Coulomb s'intéresse aussi aux fluides magnétiques et propose de les traiter par analogie avec les fluides électriques. Il fait donc l'hypothèse de deux fluides magnétiques, l'un « austral », l'autre « boréal », qui ne peuvent se déplacer librement à l'intérieur d'un aimant. Il propose alors une expression des forces magnétiques en $1/d^2$, analogue à celle des forces électrostatiques, et il explique l'expérience de l'aimant brisé, qui engendre deux nouveaux aimants après chaque cassure, en supposant les deux fluides répartis de façon équivalente dans tout l'aimant dans des « molécules aimantaires ». Mais la théorie magnétique de Coulomb est beaucoup moins solide que sa théorie électrostatique, car elle s'appuie sur moins de résultats expérimentaux. Elle est accueillie avec scepticisme par la communauté.

Au début du XIX^e siècle, Siméon Denis Poisson (1781-1840) s'intéresse aux expériences de Coulomb et leur apporte un support mathématique. Il généralise ainsi l'expression de la force électrique s'exerçant entre deux charges ponctuelles à celle

exprimant l'action entre deux corps chargés de forme quelconque. Il tente aussi de formaliser la différence majeure établie par Coulomb entre les fluides électriques qui circulent librement dans les conducteurs, et les fluides magnétiques qui semblent comme retenus dans le métal aimanté. Ainsi, il propose de modéliser cette force de retenue par une « force coercitive » qui expliquerait aussi l'existence des pôles magnétiques.



Siméon Denis Poisson
(1781-1840)

1.3. La théorie newtonienne et ses conséquences

Les travaux de Coulomb et Poisson sont très largement diffusés en France, en particulier par Jean-Baptiste Biot (1774-1862), convaincu par ces expressions des forces électriques et magnétiques identiques à celles obtenues par Newton pour la gravitation. C'est ainsi qu'émerge en France une unité formelle tout à fait séduisante entre les trois branches de la physique que sont la gravitation, l'électricité et le magnétisme. Cette unité, renforcée par l'autorité mathématique, induit alors le sentiment d'un édifice intellectuel très puissant, semblant inébranlable, et s'opposant de fait à l'introduction de toute nouvelle théorie du magnétisme.



Jean-Baptiste Biot
(1774-1862)

Mais telle n'est pas la seule conséquence de la théorie newtonienne en France. Elle induit aussi la conviction qu'existe une indépendance totale entre les phénomènes électriques et magnétiques, ce qui rend impossible la recherche d'une quelconque action réciproque entre des phénomènes distincts tels que le magnétisme, l'électricité, la gravitation, la lumière ou la chaleur.

Comment expliquer alors l'action de la foudre dans un tel contexte ? En 1770, Benjamin Franklin (1706-1790) en propose une interprétation dans le cadre de la théorie newtonienne : il montre que le magnétisme de l'aiguille aimantée serait dû au magnétisme de la Terre « mis en mouvement » par le fluide électrique. La foudre n'aurait donc pas d'action magnétique propre : son seul rôle serait de permettre au magnétisme terrestre d'agir. Impossible alors d'expliquer la possibilité d'une inversion des pôles d'une boussole par la foudre.

1.4. La découverte de la pile par Volta

Au début du XIX^e siècle apparaissent les premières piles d'Alessandro Volta (1745-1827), qui suscitent de nombreuses interrogations. On distingue alors trois types de fluides électriques : le fluide « ordinaire », celui des étincelles et des décharges étu-



Alessandro Volta
(1745-1827)

diées au XVIII^e siècle et connues pour leurs manifestations discontinues, brèves et violentes ; le fluide « galvanique » présent dans les piles de Volta dont le fonctionnement n'est pas compris ; et puis, les fluides « magnétiques » tels que Coulomb les a décrits.

Aucun consensus n'émerge dans la communauté des physiciens ni sur la manière dont le fluide électrique est créé et circule dans les conducteurs, ni sur les notions de circuit ouvert et fermé, ni sur celles de courant et de tension. Le concept de « courant électrique » n'existe pas, on parle alors de « quantité d'électricité ». Celui de tension n'existe pas non plus et on parle de « degré d'électrisation ». On pense généralement qu'en reliant les pôles d'une pile par un fil, la pile est le siège de décharges à la manière de la bouteille de Leyde, et l'on tente donc d'expliquer le fonctionnement de la pile grâce à l'électrostatique.

1.5. Les théories unitaires

Parallèlement, au début du XIX^e siècle émerge dans les pays germaniques une vision romantique de la nature, encore appelée *Naturphilosophie*. Ce mouvement culturel prône l'unité profonde entre les phénomènes de la nature malgré leur diversité, et s'oppose à la vision newtonienne et atomiste des sciences. Ainsi, la dualité présente dans toute manifestation de la vie et de l'esprit aurait son équivalent au niveau élémentaire de la matière avec l'existence de deux forces fondamentales, l'une d'attraction pour expliquer la cohésion et l'autre de répulsion pour expliquer l'impénétrabilité. Ces deux forces seraient responsables à elles seules de toutes les propriétés de la matière, et se manifesteraient différemment (lumière, chaleur, électricité, magnétisme, affinité chimique). Elles pourraient se convertir d'une forme en l'autre selon les conditions expérimentales, affirmant ainsi l'unité profonde de la Nature par-delà les phénomènes visibles.

Les partisans de cette théorie unitaire ont logiquement recherché les analogies qui pourraient exister entre électricité et magnétisme. Une analogie est alors observée entre la pile qui retient les fluides électriques à ses deux extrémités, et l'aimant qui retient les fluides magnétiques à ses pôles, analogie qui a alors mené certains à prétendre abusivement que, la pile pouvant se comporter comme un aimant, un aimant peut produire les mêmes effets qu'une pile ! D'où une unification du voltaïsme et du magnétisme ! Ce type de conclusions hasardeuses issues des théories unitaires a eu pour conséquences de d'accroître la conviction de la communauté scientifique parisienne en une indépendance entre les différentes branches de la physique, et d'induire un certain mépris pour les partisans de la *Naturphilosophie*.

2. LA DÉCOUVERTE DE ØRSTED

2.1. Le chemin de la découverte

Hans Christian Ørsted (1777-1851) est un physicien danois qui adhère très tôt dans sa vie aux thèses de la *Naturphilosophie*, puis s'en éloigne suite aux conclusions abusives et non fondées scientifiquement citées ci-dessus. Ce cheminement le mène à conserver en lui un rêve d'unité, tout en acquérant une rigueur scientifique construite sur l'expérimentation. C'est cet état d'esprit unique qui va le conduire à la découverte de l'électromagnétisme.



Hans Christian Ørsted
(1777-1851)

En 1813, Ørsted s'intéresse aux questions d'électricité et de magnétisme, et il ne comprend pas l'absence d'influence entre les corps électrisés et magnétisés, en contradiction avec sa vision unitaire. Il définit alors trois formes d'électricité, qu'il hiérarchise entre elles en fonction des forces leur permettant de se manifester : frottement, contact, ou distance. Il définit ainsi «l'électricité de frottement» comme étant celle des décharges électriques, la forme la plus violente de l'électricité, «l'électricité galvanique» comme étant celle des piles de Volta, une forme plus «latente», et le «magnétisme» comme étant la forme la plus «latente». Il affirme alors que seules les formes «voisines» d'électricité peuvent interagir entre elles. Dans sa logique, seule l'électricité galvanique peut donc avoir une action sur le magnétisme.

2.2. L'expérience historique

En avril 1820, Ørsted entreprend l'étude expérimentale de ces interactions entre les différentes formes d'électricité. Il a alors l'idée de placer une aiguille aimantée à proximité d'un fil électrique. Mais, comment disposer l'aiguille par rapport au fil ? Il commence par chercher une action «longitudinale». Après avoir testé les quatre configurations possibles du fil perpendiculaire à l'aiguille, il a l'idée de placer le fil colinéaire à l'aiguille et découvre une action «transversale» (cf. figure 1). Il observe alors une déviation de l'aiguille quand circule un courant, déviation très ténue, car la pile est très faible, et le fil de section très petite, donc

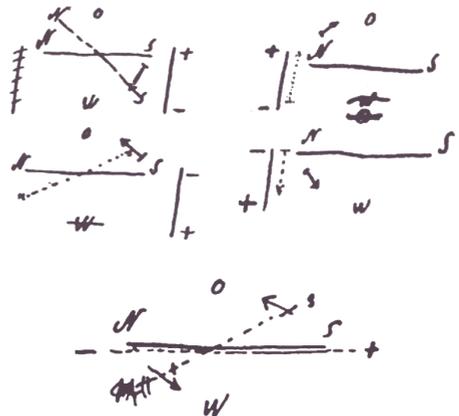


Figure 1 - Croquis d'Ørsted dans son carnet de laboratoire (la lettre «O» signifie l'Est en danois) de toutes les configurations possibles du fil par rapport à l'aiguille aimantée.



Figure 2 - Ørsted dans son laboratoire, *Les Merveilles de la science* par Louis Figuier paru en 1867.

de résistance importante. En juillet 1820, Ørsted a accès à une pile plus performante, il refait l'expérience et cette fois, la déviation de l'aiguille ne fait plus aucun doute (cf. figure 2) !

Ørsted n'est en fait pas étonné par cette expérience, puisqu'il est persuadé depuis longtemps de l'unité entre les phénomènes physiques, électriques et magnétiques en particulier. En juillet 1820, il publie un mémoire intitulé *Expériences sur l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée* où il écrit : «L'aiguille aimantée change de direction par l'influence de l'appareil voltaïque, et cet effet a lieu lorsque le circuit est fermé et non lorsqu'il est interrompu. C'est pour avoir laissé le circuit ouvert que de célèbres physiciens n'ont point réussi, il y a quelques années, à montrer cet effet».

2.3. Un accueil mitigé

Très vite, le manuscrit d'Ørsted fait le tour de l'Europe. Son expérience est répétée à l'été 1820 à Genève où existe une pile puissante. L'expérience est menée en présence de nombreux physiciens, mais elle est accueillie avec scepticisme par la communauté, car la réputation d'Ørsted est mauvaise, suite à son adhésion, même passagère, aux thèses de la *Naturphilosophie*. François Arago (1786-1853), témoin de l'expérience à Genève, est persuadé de sa véracité. Il rentre à Paris, et lors de la séance du 4 septembre à l'Académie des sciences, il fait état de l'expérience d'Ørsted. Cette découverte étrange est accueillie froidement par la communauté scientifique parisienne complètement ancrée dans sa vision newtonienne. Elle soulève incrédulité et scepticisme. Ampère est présent et se singularise en pensant que c'est la théorie de Coulomb de l'électricité et du magnétisme qui «écartait absolument toute idée d'action de l'une sur l'autre. La prévention en était au point que, quand M. Arago parla de ces nouveaux phénomènes à l'Institut, on rejeta cela comme on avait rejeté les pierres tombées du ciel [...]. Ils décidaient tous que c'était impossible». Face



François Arago
1786-1853)

à la situation, Arago ne perd pas espoir, et il reproduit lui-même l'expérience d'Ørsted lors de la séance du 11 septembre à l'Académie. Force est alors de constater que le phénomène est réel. La communauté des physiciens s'empare de la découverte et chacun à Paris, à Genève, à Londres, reproduit l'expérience et tente de la comprendre.

Cette expérience présente en fait plusieurs difficultés conceptuelles dans le contexte de l'époque : d'une part, en l'absence de notion de courant, comment comprendre que la pile sans le fil n'a aucun effet sur la boussole ? D'autre part, comment imaginer une action du circuit sur l'aiguille non pas longitudinale comme prévu dans la vision newtonienne, mais transversale puisqu'elle amène l'aiguille à se placer perpendiculairement au fil ? Enfin, comment accepter cette preuve manifeste d'interaction entre électricité et magnétisme, alors que la théorie newtonienne affirme leur indépendance totale ?

2.4. Des interprétations variées

Ørsted tente d'interpréter son expérience : en désignant par « conflit électrique » l'effet de l'action voltaïque dans le conducteur et autour de lui, il observe que « le conflit électrique n'agit que sur les particules magnétiques de la matière » puisqu'il ne dévie pas les aiguilles non magnétiques, et que le conflit entre les deux électricités opposées n'est pas circonscrit au fil conducteur puisqu'il s'étend dans l'espace « en tournoyant ». Ørsted explique alors ces résultats en supposant que « la matière électrique négative » décrit une spirale à droite et agit sur le pôle nord de l'aiguille tandis que la « matière électrique positive » possède un mouvement de sens contraire et agit sur son pôle sud sans agir sur le pôle nord. Cette expérience est la preuve pour Ørsted de l'existence de la forme d'électricité la plus « latente », le magnétisme, et de son action sur les corps au sein desquels se trouve la même forme d'électricité, c'est-à-dire les aimants. Ces explications ne vont bien sûr pas convaincre la communauté, mais elles sont intéressantes, car elles mettent en évidence les difficultés conceptuelles introduites par cette expérience.

Ørsted s'éloigne ensuite de ce sujet, car il a atteint son objectif d'unification, et que la recherche de lois mathématiques ne l'intéresse que peu.

De nombreux physiciens se penchent sur l'expérience d'Ørsted en apportant des observations expérimentales qualitatives. Seuls Jean-Baptiste Biot et André-Marie Ampère (1775-1836) tentent de développer des lois mathématiques sous-tendant ces phénomènes nouveaux.

À Paris où la théorie newtonienne fait loi, Biot se distingue en proposant une hypothèse : il suppose une aimantation temporaire des fils électriques pour expliquer l'expérience d'Ørsted. Il ramène ainsi l'inconnu que sont alors les courants galvaniques, au connu que sont les fluides magnétiques, et réduit de fait la découverte

d'Ørsted au seul magnétisme. Cette hypothèse newtonienne qui permet de sauver le principe de l'interaction entre entités de même nature est retenue par la majorité des physiciens (Poisson, Laplace...).

Parallèlement, Ampère s'individualise : il n'essaie alors pas de réduire l'électromagnétisme au magnétisme. Il imagine l'existence de courants électriques dans les aimants, et il suppose une action entièrement nouvelle : l'action entre courants électriques, alors que la nature même du courant électrique est inconnue. Mais, quel est donc ce physicien si audacieux ?

3. ANDRÉ-MARIE AMPÈRE (1775-1836)

3.1. La période précédant 1820

Pendant sa jeunesse dans la maison familiale de Poleymieux-au-Mont-d'Or, André-Maire Ampère ne suit pas d'études académiques, il se forme en lisant tous les volumes de la bibliothèque extrêmement fournie de son père. Ce parcours atypique engendre chez lui une démarche encyclopédique qu'il mène avec passion et sans discipline. Jusqu'à 29 ans, il vit à Lyon, entouré d'amis partisans de la *Naturphilosophie*, et il partage leurs convictions. Dès 1801, il a une pensée scientifique propre et écrit les préliminaires d'un grand mémoire sur la physique, visant à unifier électricité et magnétisme. Il prend alors ses distances avec la théorie de Coulomb de l'électricité et du magnétisme, car il s'oppose à l'existence de nombreuses forces d'attraction et de répulsion introduites entre les différents fluides, et il refuse « la supposition même d'une action à distance entre deux corps qui ne se touchent pas », propre à la vision newtonienne. Il imagine un système reposant sur une attraction « unique, universelle, constante » puisque d'origine divine, et une propagation de proche en proche des influences électriques selon les lois de la mécanique par l'intermédiaire d'un fluide remplissant tout l'espace, encore appelé « éther », et il écrit : « J'ai donc pu me flatter que le hasard m'avait favorisé d'une de ces idées qui ouvrent aux physiciens une carrière nouvelle lorsqu'après avoir réduit tous les phénomènes de l'aimant et de l'électricité à un principe unique, j'ai vu naître de ce principe les applications les plus simples et les plus naturelles d'un grand nombre de faits dont les causes étaient ignorées ». De fait, Ampère a l'ambition de refonder la physique avec un « immense désir de synthèse et d'universelle harmonie », ce qui le conduira même plus tard à rechercher l'unité et le fondement de l'ensemble des connaissances humaines.



André-Marie Ampère
(1775-1836)

L'expérience d'Ørsted en 1820 engendre un véritable bouleversement dans la

vie d'Ampère à l'origine de deux périodes très fécondes. En fait, elle lui permet de redonner vie à son rêve de jeunesse d'unification entre électricité et magnétisme, avec le secret espoir d'être lui, le « génie capable d'y appliquer le calcul qui a produit tant de merveilles entre les mains des mathématiciens modernes ».

3.2. La période septembre 1820 - janvier 1821

La première période, qui s'étale de septembre 1820 à janvier 1821, est une période de création intense et passionnée. Ampère travaille sans relâche, avec fougue, et produit de nombreux mémoires écrits dans la précipitation à cause du caractère passionné d'Ampère, mais aussi à cause de l'urgence à répondre à Biot auquel il s'oppose. Les deux physiciens se livrent en effet une compétition féroce, chacun voulant prouver la véracité de son hypothèse, et être le premier à énoncer à l'Académie la bonne explication de l'expérience d'Ørsted. Ainsi, Ampère produit beaucoup de mémoires écrits dans la hâte, par morceaux séparés, au point même de parfois anticiper les résultats expérimentaux : ils traduisent parfaitement cet empressement du chercheur passionné. Ces divers écrits sont ensuite rassemblés dans un ouvrage « De l'action exercée sur un courant électrique par un autre courant, le globe terrestre ou un aimant » qui paraît dans les *Annales de chimie et de physique*.

En janvier 1821, Ampère est brusquement interrompu dans son travail par une maladie pulmonaire.

3.3. La période 1823-1826

La deuxième période très féconde d'Ampère s'étale de 1823 à 1826. C'est une période plus posée au cours de laquelle Ampère s'emploie à défendre sa théorie basée sur les actions entre courants, à élargir son champ d'action, et à approfondir ses fondements mathématiques. Cette période s'achève par la publication en 1826 d'un nouvel ouvrage intitulé : *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience* qui est l'aboutissement de ses recherches. Son rêve d'unité étant réalisé, il consacre ensuite le reste de sa vie à des recherches philosophiques et à la construction d'une classification universelle des connaissances humaines.

CONCLUSION À CETTE PREMIÈRE PARTIE

La première partie de cet article consacré à la découverte de l'électrodynamique par André-Marie Ampère montre combien le paysage scientifique du début du XIX^e siècle est empreint de l'autorité newtonienne, combien la compréhension même des phénomènes électriques et magnétiques est alors floue et sujette à controverses. La connaissance de ce contexte met en valeur la formidable audace intellectuelle dont

Ampère fait preuve en supposant l'inconnu, c'est-à-dire des courants électriques, pour expliquer un phénomène nouveau, l'expérience d'Ørsted. C'est ainsi que se distingue la figure d'André-Marie Ampère dans le paysage scientifique du début du XIX^e siècle.

La deuxième partie de cet article (à paraître dans le prochain numéro du *Bup*) sera l'occasion de développer de façon approfondie la démarche scientifique qui mène Ampère à sa découverte de l'électrodynamique dont nous fêtons les 200 ans.

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] C. Blondel, « Ampère, le “Newton de l'électricité” ? », *Le bulletin de la Sabix*, n° 37, p. 56-64, 2004 :
- [2] C. Blondel, *Ampère et la création de l'électrodynamique*, Collection : Mémoires de la section des sciences, BNF, 1982.
- [3] C. Blondel et B. Wolf, Ampère et l'histoire de l'électricité :
<http://www.ampere.cnrs.fr/>
page consultée le 20 mars 2022
- [4] X. Dufour, « Ampère philosophe », *Le bulletin de la Sabix*, n° 37, p. 65-74, 2004.
- [5] R. Locqueneux, « Ampère n'a pas été qu'un grand savant », *REE*, n° 2, p. 78-84, 2014.



Hélène FISCHER

Enseignante chercheuse

Institut Jean Lamour

Unité mixte de recherche

CNRS - Université de Lorraine

Nancy (Meurthe-et-Moselle)