



HAL
open science

La physique en France en 1820 : un petit âge d'or

Hugues Chabot

► **To cite this version:**

Hugues Chabot. La physique en France en 1820 : un petit âge d'or. Mémoires de l'Académie des belles-lettres et arts de Lyon, 4ème série, vol. 20, 2021. halshs-03776457

HAL Id: halshs-03776457

<https://shs.hal.science/halshs-03776457>

Submitted on 24 May 2023

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.

La physique en France en 1820 : un petit âge d'or

« Nous ne sommes plus au temps de Fresnel où des découvertes importantes en optique ont pu être faites avec un carton percé et une goutte de miel ! »
Jean Thibaud

Lorsque Jean Thibaud, fondateur de l'Institut de Physique Atomique de Lyon et créateur d'un prix remis chaque année par l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon, évoque les recherches de Fresnel sur la lumière au tout début du XIX^{ème} siècle, il en donne sans aucun doute une vision idéalisée et tronquée. En creux, le propos pointe cependant une caractéristique majeure des recherches menées en physique à cette époque : le recours à des instruments et protocoles expérimentaux qui stimulent l'ingéniosité technique des savants.

Mais cette ingéniosité technique se double d'une autre compétence parvenue à son apogée en France dans le milieu scientifique des années 1820 : la formation mathématique. Les historiens des sciences rattachent ce mouvement de mathématisation de la physique au nom de Laplace, l'auteur de la *Mécanique céleste*, ouvrage qui constitue dans le domaine de l'astronomie l'achèvement de la théorie de la gravitation universelle de Newton. Sachant la position et la vitesse de chacun des atomes de notre univers, il devenait possible, en théorie, d'en déterminer exactement l'évolution future.

À partir de 1807, Laplace fonde, avec la complicité du chimiste Berthollet, une société savante, la Société d'Arcueil, qui rassemble des jeunes chercheurs parmi les plus prometteurs autour d'un objectif commun : étendre aux recherches sur la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme..., les principes et les méthodes qui ont si bien réussi pour la gravitation. Poisson, Malus, Biot, ou encore Arago, s'y retrouvent pour préparer et lire leurs mémoires en vue d'une présentation à l'Académie des sciences. Ils disposent pour ce faire d'un laboratoire et d'une bibliothèque. La Société d'Arcueil développe ainsi un programme de mathématisation systématique des lois physiques et chimiques.

Dans le paysage scientifique européen de la physique du début du XIX^{ème} siècle, la mathématisation est une singularité française, et plus précisément parisienne. Ailleurs, en Angleterre, dans les provinces allemandes, en Suisse, dans la péninsule italienne, on privilégie une démarche expérimentale exploratoire. La curiosité pour enquêter sur la nature de l'électricité est à son comble. On s'interroge sur des liens possibles avec la chaleur, la lumière le magnétisme. On étudie les phénomènes, sans nécessairement chercher à en donner un compte rendu mathématique. On effectue des mesures bien sûr, mais peu et sans souci exagéré de précision.

Dans le programme laplacien, à l'inverse, tous les phénomènes physiques doivent être soumis à une quantification et une mathématisation, c'est-à-dire à des opérations de mesure de grandeurs physiques identifiées comme fondamentales et à une mise en équation mathématique de ces grandeurs physiques, avec comme modèle à suivre la loi de la gravitation universelle. Un premier succès avait d'ailleurs été obtenu dès les années 1780 par Coulomb, dont la loi de l'électrostatique mime à la perfection la loi newtonienne.

Plusieurs présupposés sont attachés à cette approche. Du point de vue de la physique, on associe à chaque ordre de phénomènes (lumière, chaleur, électricité, magnétisme, capillarité...) une matière spécifique, souvent désignée à l'époque sous l'expression générique de « fluide impondérable » (c'est-à-dire échappant à la loi de la gravitation). À chacun de ces fluides est associée une action spécifique, une force, à mettre en équation. Du point de vue du travail mathématique, il s'agit donc de trouver la fonction qui exprime la valeur de cette force en fonction de grandeurs physiques mesurables impliquées dans le phénomène mis à l'étude.

Parmi les noms rattachés à la Société d'Arcueil, Arago se joint dès 1805, à l'âge de 20 ans, à Biot, son aîné de 12 ans, pour étudier la déviation de la lumière dans les gaz. À cette époque, c'est la théorie corpusculaire de la lumière héritée de Newton qui domine. Tous les efforts sont alors tournés vers la mise en équation du mouvement des corpuscules lumineux, dont les déviations, comme la réflexion sur un miroir ou la réfraction par une lentille, s'expliquent dans ce modèle par l'action de forces moléculaires à courte portée. Arago et Biot en donnent une première équation.

Quatre ans plus tard, en 1809, Arago entre à l'Académie des sciences de Paris. Tout en continuant à travailler sur les propriétés de la lumière, il va dès lors jouer un rôle essentiel pour promouvoir et encourager les recherches d'autres savants, comme Fresnel, mais aussi Ampère dont nous allons bientôt plus longuement parler.

Tandis que Biot développe une théorie mathématique des corpuscules lumineux de plus en plus sophistiquée, Arago change d'orientation et s'engage en faveur d'une théorie concurrente, la théorie ondulatoire. Elle remonte à Huygens, un contemporain de Newton. Dans cette théorie, la lumière est conçue, en analogie avec le son dans l'air, comme une vibration dans un milieu invisible, l'éther. Les vagues à la surface de l'eau en donnent une autre illustration. Au début du XIX^{ème} siècle, la théorie ondulatoire est remise au goût du jour par les travaux de Thomas Young en Angleterre. Le savant anglais a mis en évidence le phénomène d'interférences, c'est-à-dire la propriété remarquable qu'ont deux rayons lumineux, issus d'une même source, de s'annuler ou de s'amplifier l'un avec l'autre, selon des figures géométriques donnant prise au calcul et dénommées franges d'interférence.

Arago rencontre Fresnel pour la première fois en juillet 1815. Arago décèle chez Fresnel un talent mathématique remarquable et l'encourage à travailler sur la diffraction de la lumière, un phénomène de coloration des franges observé de longue date et qui survient lorsqu'un rayon lumineux rase un obstacle. Le 26 octobre 1815, Fresnel lui envoie le fruit de son travail sur la diffraction. Il s'agit d'une théorie mathématique de la lumière entièrement originale et qui contient surtout un résultat nouveau : les franges colorées engendrées par les rayons de lumière diffractés par le bord d'un obstacle dessinent des hyperboles. Un résultat que confirment les observations et qui reste totalement inexplicable par la théorie corpusculaire, dans laquelle les corpuscules lumineux suivent des trajectoires rectilignes. Les travaux de Fresnel triomphent à l'Académie.

Passons à notre héros du jour, Ampère, et à son irruption soudaine dans le champ d'un autre domaine de la physique, celui des recherches sur l'électricité et le magnétisme.

Tout commence à l'été 1820, par une découverte faite avec une aiguille et un fil par le physicien danois Ørsted. L'aiguille, c'est celle d'une boussole, dont les orientations, variables selon lieu géographique (et même au cours du temps), permet de dessiner la carte du magnétisme terrestre. Le fil, c'est celui qui relie les deux pôles électriques de la toute récente

pile de Volta, mise en batterie, et utilisée notamment pour décomposer les substances chimiques (l'électrolyse de l'eau en est une des premiers exemples).

On a souvent insisté sur le caractère fortuit de la découverte d'Ørsted. En réalité, Ørsted fait partie des savants déjà convaincus qu'il existe une unité cachée entre électricité et magnétisme, mais sans jamais avoir pu en faire la démonstration. Il n'en reste pas moins que la surprise, pour lui comme pour ses contemporains, est bien réelle lorsqu'il constate, par hasard, qu'au voisinage d'un fil électrique, l'aiguille aimantée d'une boussole change d'orientation. Le protocole expérimental ne semble pas avoir été prémédité, et, de ce point de vue, la rencontre fortuite de cette boussole et de ce fil électrique sur la paillasse de démonstration d'Ørsted est comme un écho précurseur de la « rencontre fortuite d'un parapluie et d'une machine à coudre sur une table de dissection » du poète Lautréamont. Il fallait, sans aucun doute, un esprit prévenu pour reconnaître dans cette coïncidence le signe révélateur de l'unité pressentie entre électricité et magnétisme. Le hasard ne favorise que les esprits préparés.

À Paris, les esprits sont moins préparés. La démarche laplacienne que nous avons évoquée n'encourage d'ailleurs pas, *a priori*, un tel rapprochement tout occupé que l'on est à chercher des lois séparées pour le fluide électrique d'une part, pour le fluide magnétique d'autre part. Le scepticisme règne, jusqu'à ce que l'expérience soit reproduite à l'Académie des sciences à l'initiative d'Arago.

Qu'observe-t-on ? L'aiguille se place en travers du fil, dans un certain sens si elle est au-dessus du fil, mais dans l'autre sens si elle est au-dessous du fil. La valeur de la déviation ne semble pas pouvoir se traduire par une formule mathématique simple. Des paramètres très différents jouent à la fois : la distance entre le fil et la boussole, la puissance de la batterie, qui a le défaut de décroître rapidement au cours du temps, mais aussi et surtout la position relative (dessus/dessous), et même encore le sens de branchement du fil sur la batterie. Aucune formule mathématique existante n'est alors en mesure de décrire ce comportement à géométrie variable. L'expérience sonne comme un défi jeté aux laplaciens.

Biot relève ce défi, avec Savart qui va l'épauler pour les expériences. Le programme de mathématisation commence par des campagnes de mesure, qui s'avèrent très délicates. Comme pour les autres forces connues, les deux savants considèrent que la distance est le facteur clé à prendre en considération. Ils laissent volontairement de côté la question de la position relative (dessus/dessous) de l'aiguille et du fil. Ils aboutissent à une loi empirique en $1/r$, elle-même tributaire d'une formule mathématique plus fondamentale en $1/r^2$ (faisant aussi intervenir le sinus d'un angle). L'honneur des laplaciens semble sauvé. Pourtant, la postérité a réécrite cette formule algébrique, et ce pour la rendre conforme à la géométrie du problème (dessus/dessous), sur laquelle nous allons revenir, et surtout à l'aide d'objets mathématiques bien plus récents, les vecteurs et les opérations qui peuvent leur être associées. La loi dite de Biot et Savart, encore enseignée aujourd'hui, prend la forme d'un produit vectoriel que leurs auteurs étaient bien loin d'avoir en tête : $d\mathbf{B} = K \times (d\mathbf{l} \wedge \mathbf{r}) / r^3$.

Cette réécriture, on en trouve les fondements dans le travail d'Ampère, et ce avant même que Biot et Savart aient mené à terme leurs investigations. Ampère est alors professeur à l'École polytechnique et ne s'est signalé par aucune recherche dans le domaine de la physique expérimentale. Il est en marge du milieu scientifique parisien, et de l'école laplacienne dont il ne partage pas les objectifs et les méthodes. Comme Ørsted, il a en vue depuis plusieurs années une explication unifiée des phénomènes électriques et

magnétiques. À partir de 1820, il se consacre à plein temps et à fonds perdus à des expériences dans ce domaine. Contrairement à Biot, il ne dispose pas des moyens d'un laboratoire déjà existant. Il ne peut compter que sur l'appui d'Arago, à l'Académie, et sur celui du fabricant d'instruments Pixii, avec lequel il invente une nouvelle aiguille, dite « astatique » (disposée obliquement, elle permet de neutraliser l'influence de l'inclinaison du champ magnétique terrestre).

Les premières expériences qu'il mène sont purement exploratoires, et détachées de tout enjeu de quantification. Ampère fait jouer tout un ensemble de conditions expérimentales afin de dégager des constantes. À l'issue de cette phase exploratoire, Ampère identifie comme facteur essentiel la configuration spatiale, à savoir la position relative du fil et de l'aiguille (dessus/dessous). Pour lui, un fait général s'impose : il existe une relation entre l'orientation des pôles nord et sud de l'aiguille aimantée de la boussole d'une part et le sens dans lequel le fil électrique est branché aux pôles de la batterie d'autre part.

Mais cette relation ne s'exprime pas sous la forme d'une équation algébrique. Elle exige une description en termes géométriques. Pour ce faire, Ampère s'approprie alors un concept utilisé par certains physiciens théoriciens pour expliquer le fonctionnement d'une pile (encore très mal compris à l'époque), celui d'un courant qui s'écoulerait entre ses deux pôles électriques. Comme il existe deux sens possibles pour ce courant, il devient possible de désigner deux orientations pour le fil électrique : dans le sens du courant d'une part, à contre courant d'autre part (tout comme les désignations pôles nord et sud permettent de distinguer deux orientations opposées pour l'aiguille aimantée de la boussole). L'analogie entre le courant électrique et le courant d'une rivière est complète : en suivant le sens du courant, on distingue un côté à gauche et un côté à droite de ce courant.

Ampère énonce alors la loi générale suivante : si un fil parcouru par un courant électrique est placé juste à l'aplomb d'une aiguille aimantée, alors l'aiguille aimantée s'oriente perpendiculairement à ce fil, de telle sorte que son pôle nord pointe à gauche du courant et son pôle sud à droite du courant. Pour la position inverse, c'est-à-dire avec le fil placé juste au-dessous de l'aiguille, on obtient une orientation opposée.

Pour Ampère, ces deux phénomènes d'orientation, aux résultats exactement opposés, sont le résultat d'une même cause : le passage du courant dans le fil, qui crée, à angle droit du fil, une action à distance. Mais, précise Ampère, cette action à distance agit dans deux sens opposés, qui dépendent de la position relative du fil et de l'aiguille. Si l'on place le fil électrique au-dessus de la boussole, l'action à distance du fil électrique entraîne le pôle nord de la boussole vers la gauche. Réciproquement, si l'on place le fil électrique au-dessous de la boussole, l'action à distance du fil électrique entraîne le pôle nord de la boussole vers la droite.

On peut aussi faire le choix de déplacer la boussole plutôt que le fil. Les orientations nord-sud de la boussole sont exactement inverses l'une de l'autre, au-dessus et au-dessous du fil, comme si deux actions à distance parallèles mais exactement opposées s'exerçaient de part et d'autre du fil.

Partant de cette loi générale, qui s'applique à deux positions très particulières, Ampère va pouvoir rendre compte de toutes les autres positions possibles entre le fil électrique et la boussole.

Ce ne sont, bien sûr, que les premiers balbutiements de ce qui s'appellera plus tard l'électromagnétisme. Mais, dans ces premières recherches d'Ampère, il s'accomplit une nouvelle forme de mathématisation, en attente d'un nouveau formalisme et de nouveaux objets mathématiques capables de prendre en charge des résultats expérimentaux non traduisibles en nombres. Même si le but d'Ampère n'était donc pas de quantifier les interactions entre les phénomènes électriques et magnétiques, mais plutôt de repérer des régularités géométriques, c'est un résultat mathématique extrêmement important pour la physique qui émerge, de manière imprévue, d'une recherche expérimentale exploratoire.

Pour aller plus loin

Christine Blondel, Bertrand Wolff, « Ampère et l'histoire de l'électricité », (<http://www.ampere.cnrs.fr/>).

Maurice Daumas, *Arago, La jeunesse de la science*, Paris, Belin, 1987.

Robert Fox, « The rise and fall of Laplacian physics », *Historical studies in the physical sciences*, 4 (1974), p. 89-136.

Jean-Paul Poirier, *Jean-Baptiste Biot (1774-1862), Un savant méconnu*, Paris, Hermann, 2011.

Friedrich Steinle, « La mathématisation : avec ou sans mesure ? Le cas de l'électromagnétisme », dans Hugues Chabot, Sophie Roux (dir.), *La Mathématisation comme problème*, Paris, Éditions des archives contemporaines, 2011, p. 59-86.