

La portée scientifique de la correspondance de 1845 entre Gauss et Weber

Dans les années 1830, les expériences que conduisirent Carl Friedrich Gauss et Wilhelm Weber pour vérifier la théorie d'Ampère sur l'électrodynamique, aboutirent à l'hypothèse de l'électron et du noyau atomique plus de cinquante ans avant sa confirmation empirique.

La lettre que Carl Friedrich Gauss envoya le 19 mars 1845 à son jeune collaborateur, Wilhelm Weber, représente l'une des plus remarquables interventions d'un individu pour changer le cours de l'histoire. La science moderne de l'atome, la physique, la chimie et tout ce qui en dépend, n'auraient jamais existé sans cela. Ainsi, le fait que l'objet de cette lettre ne soit connu que d'un nombre restreint de spécialistes et que, même parmi ces derniers, aucun ne comprenne de manière adéquate son sens profond, nous indique que ce qu'on nous présente comme de la science dans les universités relève plutôt de la *publicité mensongère*.

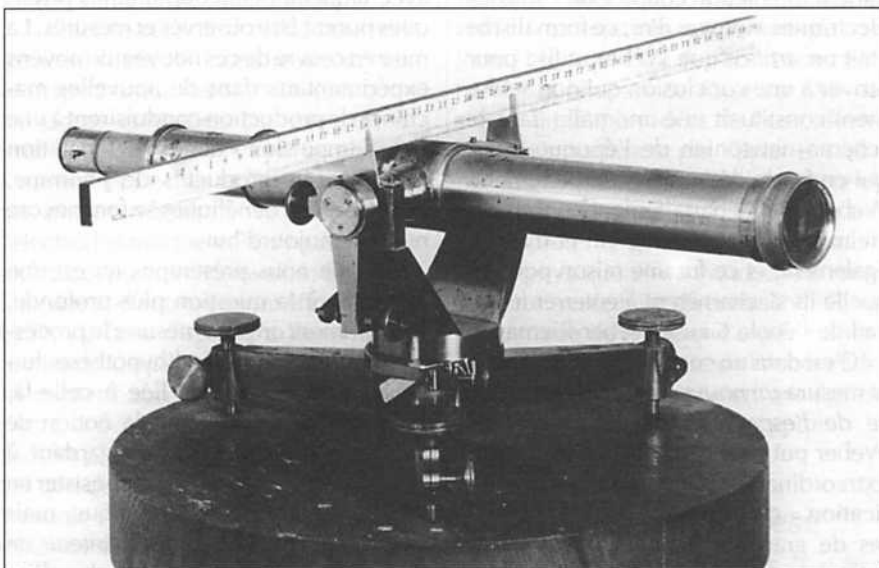
LAURENCE HECHT

Ce qui nous intéresse dans cette correspondance, c'est l'existence d'une forme particulière de concept scientifique — connue depuis Platon sous le nom d'*idée* — qui fut introduite en électrodynamique par André-Marie Ampère quelque vingt ans auparavant. A cette époque, aucun scientifique à part Gauss n'avait reconnu l'importance de cet aspect du travail d'Ampère. Dans sa lettre de 1845, Gauss traita précisément de cette question et réorienta de manière fructueuse l'approche de Weber. Grâce à cela, Weber développa une généralisation de la loi d'Ampère qui

conduisit dès 1870 à la théorie de l'existence du noyau atomique chargé électriquement, autour duquel gravitent des électrons de charge opposée, et ceci, des décennies avant toute vérification empirique de ce phénomène. A la même époque, Weber établit la formule précise (e^2/mc^2) de mesure atomique, appelée plus tard *rayon de l'électron classique*, et découvrit la force de liaison nucléaire, un phénomène pour lequel il n'y eut aucune preuve empirique avant le XX^e siècle.

Le fait que ces découvertes de Weber soient quasiment inconnues aujourd'hui est en soi un scandale, bien que ce ne soit pas notre principal sujet ici. Nous nous concentrons plutôt sur un aspect sous-jacent essentiel : la méthode d'Ampère, de Gauss et de Weber ; c'est-à-dire, la véritable méthode scientifique qui seule conduit à la découverte fondamentale. La correspondance de 1845 nous fournit de précieuses indications sur ce processus.

Commençons par le contexte général : Hans Christian Ørsted fut le premier à démontrer, en 1820, l'effet d'un courant électrique sur un aimant (**Figure 1**). Biot, Savart et d'autres de l'*establishment* de la physique en France soutenus par Laplace, entreprirent des recherches empiriques pour déterminer l'effet mesurable d'un courant dans un fil conducteur sur un aimant. Ampère, réalisant que ce courant électrique (galvanique) représentait un phénomène complètement nouveau, vit dans la démonstration d'Ørsted la possibilité de fai-

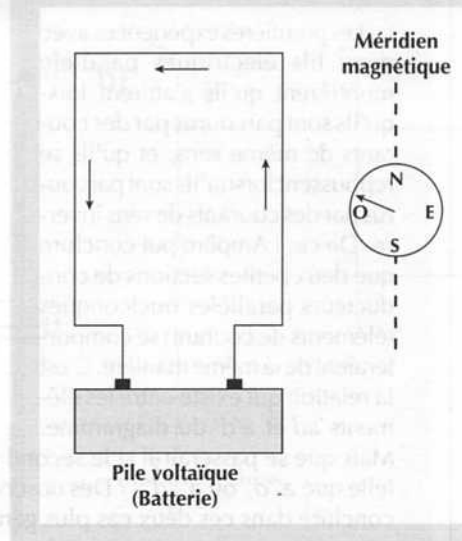


Ce télescope muni d'une règle graduée est similaire à l'instrument conçu par Gauss en 1832 afin de déterminer précisément la déflexion angulaire.

re une avancée fondamentale dans la connaissance sur le magnétisme et sur la constitution atomique de la matière. Partant de l'hypothèse que le magnétisme résulte de courants électriques entourant les molécules de matière, il se proposa d'abord de déterminer si deux conducteurs électriques s'influencent réciproquement de la même manière qu'un simple conducteur influence un aimant. Ses premières expériences établirent que deux conducteurs parallèles s'attirent ou se repoussent suivant que les courants qui les traversent sont ou non dans le même sens. Il montra ensuite qu'un courant qui passe dans un fil enroulé hélicoïdalement, configuration à laquelle il donna le nom de solénoïde, crée un pôle nord et un pôle sud magnétiques comme ceux que l'on trouve dans une barre aimantée (**Figure 2**).

Ayant ainsi découvert en l'espace de quelques semaines les premières lois empiriques d'une nouvelle science — l'électrodynamique, Ampère s'assigna la tâche d'en déterminer les lois fondamentales. Il proposa ainsi de trouver une formule exprimant l'interaction entre deux portions de courant très courtes — qu'il appela *éléments de courant* — circulant dans deux fils conducteurs électriques adjacents. Ses résultats furent remarquables. A l'époque, il était établi que les lois de la gravitation, de l'électrostatique et du magnétisme étaient dépendantes de l'inverse du carré de la distance entre leurs éléments respectifs (masse, charge et *molécules magnétiques*). Cependant, les lois

Figure 1 - L'expérience d'Ørsted



Hans Christian Ørsted fut le premier à mettre en évidence une relation entre l'électricité et le magnétisme. Il montra que lorsqu'elle est placée dans le voisinage d'un fil parcouru par un courant électrique, une aiguille de boussole s'oriente vers lui.

d'Ampère de la force sur les éléments de courant mettaient en évidence non seulement une dépendance en fonction de leur distance, mais aussi de leurs orientations dans l'espace.

La méthode de l'hypothèse

L'existence d'une telle anomalie, fissurant ainsi l'édifice parfait de l'Unification des forces dressé depuis peu, en perturba plus d'un. Pendant une vingtaine d'années, le travail d'Ampère, pourtant bien connu des scientifiques, ne fut jamais pris au sérieux. Même si beaucoup criti-

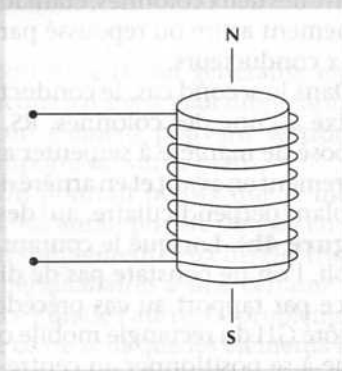
quaient cet état de fait, personne avant Weber ne se préoccupa de le mettre à l'épreuve. Le problème essentiel qui l'empêchait d'être accepté était un parti pris philosophique répandu dans la science d'alors, comme celle d'aujourd'hui, appelé *empirisme*. L'empirisme exige qu'aucun phénomène physique ne puisse être mesuré, et donc ne puisse être soumis à l'analyse mathématique rigoureuse propre aux sciences pures, à moins qu'on puisse le voir, l'entendre, le sentir, le toucher ou le goûter.

La méthode de l'hypothèse mise en œuvre par Ampère suppose plutôt que les soi-disant données sensorielles sont totalement trompeuses. Rien de ce que l'on peut voir, entendre, sentir, toucher ou goûter n'est ce qu'il a l'air d'être. Considérons, par exemple, un objet aussi simple qu'un barreau magnétique. Un empiriste pourrait passer sa journée à mesurer et analyser son effet sur un fil électrique; il peut le couper en deux, le réduire en poudre, le dissoudre dans un acide, ou le faire fondre dans un four, et cependant ne jamais arriver à la simple *hypothèse* que sa propriété magnétique dérive de l'existence de très petits courants électriques entourant les particules invisibles qui le constituent.

Formuler une telle idée n'est cependant que la première petite étape du travail de la méthode de l'hypothèse. Il faut avoir une croyance passionnée — dans un sens proche de la véritable signification du mot *foi* — en la réalité d'une simple idée de ce

Figure 2 - Le solénoïde d'Ampère

Ampère fit l'hypothèse que la véritable cause du magnétisme est le mouvement de courants électriques sur des petites orbites autour de molécules de matière. Pour prouver cela, il construisit le premier électroaimant du monde en enroulant un fil électrique autour d'un cylindre qu'il nomma solénoïde. Lorsque le solénoïde est connecté à une batterie, les extrémités du cylindre deviennent le pôle nord et le pôle sud d'un barreau aimanté. Ampère pensait que le mouvement circulaire du courant à l'échelle du solénoïde, reproduisait l'effet des petites orbites circulaires qu'il concevait à l'intérieur d'un aimant.



genre. Ce n'est que si elle est guidée par une telle passion, par *un amour de l'idée*, qu'une personne peut trouver la motivation nécessaire pour la pousser davantage, comme Ampère le fit pendant cinq ans de recherche expérimentale et d'analyse mathématique avant qu'il ne soit sûr de son fait. Et si l'idée est d'un type fondamental, comme l'était le concept d'Ampère de l'action électrique, elle tendra à jeter à bas les conceptions existant auparavant. Ainsi, l'existence d'une force dépendant de relations angulaires défiait réellement les conceptions newtoniennes. Les lois de la physique ne l'auraient pas autorisée — et pourtant, elle existait¹.

Gauss était l'un des rares — sinon le seul — qui appréciait les résultats d'Ampère à leur juste valeur. Sa lettre du 19 mars 1845 met l'accent sur un aspect de l'hypothèse d'Ampère, qui est une idée connue sous le nom de *force longitudinale*. C'est une simple construction ne reposant que sur des relations géométriques élémentaires, mais tellement controversée que certains en ont nié l'existence pendant près de deux siècles. Pour comprendre à quel point elle est cruciale pour la suite de l'histoire, donnons un résumé sur la manière dont Ampère la développa.

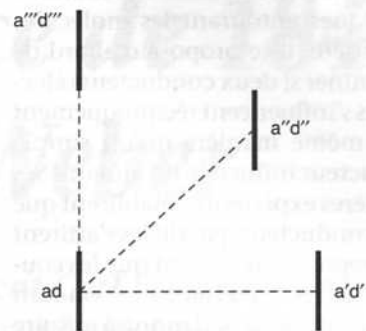
1. LES ÉLÉMENTS DE LA LOI D'AMPÈRE

Considérons d'abord deux éléments de courant ad et $a'd'$, parallèles entre eux et perpendiculaires à une ligne joignant leurs points milieu (**Figure 3**). Ampère savait d'après ses premières expériences qu'ils vont s'attirer ou se repousser suivant que le sens des courants qui traversent les fils dont ils font partie sont identiques ou opposés. Mais qu'en sera-t-il pour des éléments dans d'autres positions telles que $a''d''$ ou $a'''d'''$? Désignons par la constante k , le rapport de la force entre deux éléments longitudinaux, à la force entre deux éléments parallèles. Quelle est sa valeur? Deux éléments de courants ne peuvent être isolés des circuits dont ils font partie, pour être mis dans ces positions. Il est donc par conséquent impossible d'effectuer une mesure empirique directe des forces qu'ils exercent l'un sur l'autre. La méthode de l'hypothèse est la seule qui puisse

Figure 3 - La force entre éléments de courants

Les premières expériences avec deux fils électriques parallèles montrèrent qu'ils s'attirent lorsqu'ils sont parcourus par des courants de même sens, et qu'ils se repoussent lorsqu'ils sont parcourus par des courants de sens inverse. De ceci Ampère put conclure que deux petites sections de conducteurs parallèles quelconques (éléments de courant) se comporteraient de la même manière. C'est la relation qui existe entre les éléments ad et $a'd'$ du diagramme.

Mais que se passerait-il si le second élément était dans une autre position, telle que $a''d''$ ou $a'''d'''$? Des observations directes ne permettaient pas de conclure dans ces deux cas plus généraux.



nous donner la solution. Voici comment Ampère procéda dans ce qui est connu sous le nom de « seconde expérience d'équilibre ».

Deux colonnes parallèles et verticales sont placées sur la table d'un laboratoire à une faible distance l'une de l'autre. L'on dispose entre elles un circuit rectangulaire de telle sorte que l'un des côtés du rectangle soit parallèle aux deux colonnes et dans leur plan. Le rectangle est libre d'effectuer une rotation selon un axe vertical (**Figure 4**). Dans le premier cas, deux conducteurs électriques rectilignes sont fixés chacun sur une colonne et sont parcourus par des courants électriques de même sens, soit du haut vers le bas, soit du bas vers le haut. Un courant de sens opposé passe par le côté GH du rectangle parallèle aux deux conducteurs. Au moment où le courant s'établit, Ampère constate que le rectangle reste positionné au centre des deux colonnes, étant identiquement attiré ou repoussé par les deux conducteurs.

Dans le second cas, le conducteur kl fixé à l'une des colonnes, RS, est disposé de manière à serpenter arbitrairement en avant et en arrière dans le plan perpendiculaire au dessin (**Figure 4b**). Lorsque le courant est établi, l'on ne constate pas de différence par rapport au cas précédent. Le côté GH du rectangle mobile continue à se positionner au centre des deux colonnes, et continue à le faire même si l'on change la forme du tortillon kl .

Pour expliquer ce paradoxe, Am-

père analyse le courant dans le fil ondulé en le décomposant en éléments horizontaux et verticaux. Les deux fils ondulé et rectiligne parcourront la même longueur verticale; de ce fait, la somme des composantes verticales de kl est la même que celle de bc . Comme le premier cas prouve que les fils verticaux ne provoquent aucun mouvement, les composantes verticales de kl peuvent donc être ignorées. Le problème se ramène donc à l'examen des composantes horizontales.

Considérons n'importe quelle composante, par exemple celle qui se trouve à l'emplacement arbitraire p sur la Figure 4b, qui est par définition perpendiculaire à la zone ombrée RScb. Considérons-le par rapport à n'importe quel élément de courant du fil mobile GH. En vertu du fait que GH ne bouge pas, nous pouvons conclure que la composante horizontale arbitrairement choisie ne doit avoir aucune interaction avec aucun élément de courant le long de GH. Si elle avait une quelconque interaction, un déséquilibre des forces surviendrait du fait que le fil est tordu de manière arbitraire, ce qui provoquerait une rotation de GH.

De ce fait déduit expérimentalement, Ampère fut en mesure d'énoncer le théorème suivant sur l'interaction des éléments de courant :

« (...) qu'une portion infiniment petite d'un élément de courant n'exerce aucune action sur un autre élément de courant infiniment petit situé dans un plan qui passe par son point milieu et qui est

