



Bibnum

Textes fondateurs de la science
Physique

L'acte de naissance de l'électromagnétisme

Jean-Jacques Samuëli et Alexandre Moatti



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/bibnum/704>

ISSN : 2554-4470

Éditeur

FMSH - Fondation Maison des sciences de l'homme

Référence électronique

Jean-Jacques Samuëli et Alexandre Moatti, « L'acte de naissance de l'électromagnétisme », *Bibnum* [En ligne], Physique, mis en ligne le 01 janvier 2010, consulté le 02 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/bibnum/704>

L'acte de naissance de l'électromagnétisme

par Jean-Jacques Samuëli, docteur ès sciences physiques
& Alexandre Moatti, ingénieur en chef des mines

L'année 1820 a connu l'un des séismes de l'histoire de la physique : la découverte des actions électromagnétiques. Le 21 juillet, Hans Christian Ørsted (1777-1851) publie ses *Expériences relatives à l'effet du conflit électrique* (*Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*), c'est à dire l'action d'un courant électrique sur un aimant.

Dans l'*Edinburgh Encyclopedia*, en 1830, soit plus de deux ans après la fin des travaux d'Ampère, Ørsted a décrit lui-même les circonstances de sa propre découverte¹, en parlant de lui à la troisième personne comme le faisaient les autres rédacteurs de l'encyclopédie. Nous traduisons son texte comme suit :

L'électromagnétisme proprement dit a été découvert en 1820, par le professeur Hans Christian Ørsted de l'Université de Copenhague. Durant sa carrière littéraire, il avait adhéré à l'opinion suivant laquelle les effets électromagnétiques sont produits par les mêmes forces que les effets électriques. [...] Ses recherches sur le sujet restèrent sans succès jusqu'en 1820. Durant l'hiver 1819-1820, il donna des conférences sur l'électricité, le galvanisme et le magnétisme devant un auditoire connaissant les principes de la philosophie naturelle. En composant sa conférence où il devait traiter l'analogie entre l'électricité et le magnétisme, il supposa que s'il était possible de produire un quelconque effet magnétique par l'électricité, cela ne se produirait pas dans la direction du courant, car cela avait souvent été tenté en vain, mais par une action latérale [...] Le plan de la première expérience était de faire passer un faible courant galvanique dans un fil très fin de platine qui était placé au dessus d'une boussole recouverte par du verre.

Après itération de ses expériences, Ørsted publie son mémoire en juillet 1820. Le texte original en latin (*Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*) paraît sous deux formes : l'édition séparée comportant quatre pages in quarto, datée du 21 juillet 1820, et l'édition dans le journal de Schweigger (*Journal für Chemie und Physik*), cahier de juillet 1820, pages 275-281, dans le format in octavo. Nous reproduisons avec ce commentaire, la version de ce journal.

1. *Edinburgh Encyclopedia*, XVIII, pp. 573-589, 1830.

Toujours en 1820, une traduction française des *Experimenta circa effectum* paraît d'une part dans le tome 14 des *Annales de Chimie et de Physique* (pp. 417-425), et d'autre part dans le tome 14 de la *Bibliothèque Universelle des Sciences, Belles-lettres et Arts* (pp. 274-284). Cette traduction, dont nous donnons également une numérisation comporte en note de bas de page deux commentaires d'Arago, l'éditeur des *Annales de Chimie et de Physique*.

Le texte d'Ørsted fut ensuite traduit dans diverses langues et fit sensation. En 1821, le prestigieux *Journal für Chemie und Physik* fut publié avec un éditorial annonçant un changement de format « en partie, à cause du fait qu'une nouvelle époque avait débuté avec les importantes découvertes d'Ørsted relatives à la connexion entre l'électricité et le magnétisme ». Schweigger ajouta : « Les expériences d'Ørsted concernant le magnétisme sont les plus importantes réalisées depuis plus d'un millénaire² ».

Dans son ouvrage *Ansicht der chemischen Naturgesetze*, publié en 1812 et traduit en français l'année suivante³, Ørsted avait déjà envisagé la "conversion" électricité-magnétisme. Il écrivait :

Nous tâcherons pour mieux encore prouver l'universalité des deux forces chimique ou électrique de montrer qu'elles produisent aussi les phénomènes magnétiques et les changements principaux dans la nature organique.

@@@@@@@

L'expérience d'Ørsted, décrite dans son mémoire, montre qu'un conducteur transportant un courant électrique fait dévier l'aiguille aimantée d'une boussole placée à proximité du conducteur. Mais Ørsted ne suggéra aucune explication satisfaisante du phénomène, ni n'essaya de le représenter dans une formulation mathématique. En effet, les physiciens ont dû se passer, dans leurs théories, du concept d'électron jusqu'aux années 1890 et la parution du mémoire de Lorentz, *La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants*, en 1892 et des expériences de 1897 de Joseph John Thomson (1856-1940)⁴. On peut donc concevoir qu'en 1820, il était difficile de comprendre les phénomènes découverts, difficile de dire si le magnétisme du fer est dû à des courants

2. I. Schweigger, *J. für Chem. und Phys.* 31, 1, 1821.

3. *Recherches sur l'identité des forces chimiques et électriques* par Mr. H.C. Ørsted ; traduit de l'allemand par Mr. Marcel de Serres, Paris, Dentu, 1813.

4. Leurs contributions respectives ont été résumées en une phrase par Whetham "While Thomson explained electricity in terms of matter, Lorentz expressed matter in terms of electricity" (*A history of science*, 3^{ème} ed., 1942.)

circulant dans la matière des aimants, et si l'électrodynamique fait intervenir des forces de type newtonien ou, comme le croyait Biot, des forces coulombiennes entre pôles magnétiques.

Tandis que le champ électrique est une notion qui remonte aux travaux de Coulomb (1785) [champ de force associé à une charge électrique unité], la notion de champ électromagnétique prendra corps lentement au cours du XIX^e siècle.

CARACTERISATION DU PHENOMENE PAR ØERSTED

Dans le premier paragraphe de la traduction de son mémoire (pages 417-418 des Annales) Øersted indique que c'est le passage du courant qui induit un effet sur l'aiguille aimantée et cite divers témoins de son expérience. Il décrit la pile qu'il utilise, constituée de vingt paires d'électrodes de cuivre et de zinc plongées dans une solution acide :

Notre appareil voltaïque était composé de vingt loges de cuivre rectangulaires contiguës, dont la longueur et la hauteur étaient d'environ 12 pouces, et la largeur d'environ 2 pouces et demi (...) L'eau dont on remplit les loges contient 1/60 de son poids d'acide sulfurique et un autre soixantième d'acide nitrique (...) On peut employer des appareils moins puissants, il suffit qu'ils soient capables de faire rougir un fil de métal. On met en communication les pôles opposés de l'appareil voltaïque, par un fil de métal que nous appellerons, pour abrèger, le fil conducteur ou conjonctif ; et nous désignerons l'effet qui se manifeste dans ce conducteur et autour de lui pendant l'action voltaïque, par l'épithète de conflit électrique.

Arago remarque à juste titre en note de bas de page que la description de la pile⁵ n'est pas claire et ajoute : « mais toutes les piles, quelle que soit leur construction, produisent les mêmes effets ». Il résume aussi en quelques lignes les résultats d'Øersted, en soulignant le troisième point :

1° Un fil métallique en communication avec les deux pôles de la pile agit sur l'aiguille aimantée ; 2° la nature de cette action dépend, sinon de la position de la pile, du moins de la direction dans laquelle les fluides positif et négatif se meuvent dans le fil conducteur, relativement aux pôles de l'aiguille. 3° si le fil conducteur est placé au dessous de l'aiguille, il

5. On peut évaluer la force électromotrice de la pile utilisée par Øersted entre 25 et 30 volts, et le courant (le « conflit électrique », comme il l'appelle) résultant dans le fil à quelques ampères. Par ailleurs, on peut s'étonner des détails abondants donnés par Øersted à propos de sa pile : rappelons toutefois que la pile de Volta, permettant la circulation du courant, ne datait que de 1800, vingt ans auparavant (voir l'analyse par J.J. Samuëli du texte de 1800 de Volta sur [BibNum](#)).

produira une déviation en sens inverse de celle qu'il occasionnait quand il était dessus.

@ @ @ @ @ @ @

Ørsted va alors procéder à un certain nombre de caractérisations du phénomène :

[Caractérisation 1] [fil conducteur placé au-dessus et parallèlement à l'aiguille d'une boussole] *l'aiguille aimantée se mouvra de manière que, sous la partie du fil conjonctif qui est la plus rapprochée du pôle négatif de l'appareil, elle déclinera vers l'ouest.*

L'aiguille, en l'absence de courant, indiquant le nord magnétique, la déviation s'opère vers l'ouest du côté du pôle négatif.

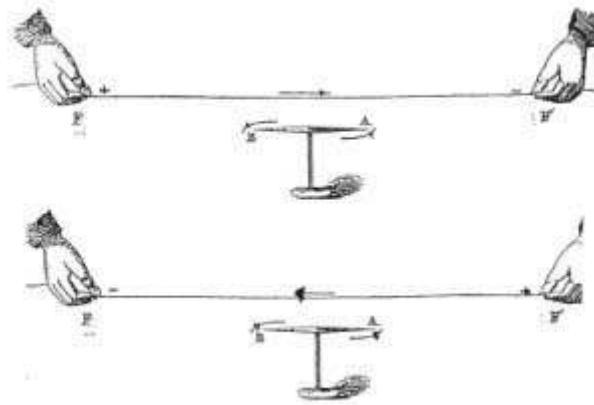


Figure 1 : Caractérisation [1]. La partie A (noire) de l'aiguille indique le Nord. En haut, la partie A se meut vers l'Ouest, la partie B vers l'Est. En bas, le courant va dans l'autre sens et l'aiguille tourne donc dans l'autre sens (la partie A vers l'Est et la partie B vers l'Ouest). Dans les deux cas, la partie de l'aiguille « la plus rapprochée du pôle négatif » (A en haut et B en bas) s'oriente vers l'Ouest. [Illustration tirée de "Approche historique de quelques expériences d'électromagnétisme", Alain Jameau (Lycée La Fontaine, Dinan) et M. Bassoulet, Bulletin de l'Union des Physiciens, n°801, (2/1998), p. 265-277 ; cité par www.ampere.cnrs.fr]

Le bonhomme d'Ampère

Ampère décrira la direction dans laquelle se déplace l'aiguille aimantée par la règle dite du « bonhomme d'Ampère » : le bonhomme est couché sur le conducteur ; le courant, qui va par convention du plus vers le moins, le parcourt des pieds vers la tête ; il a les yeux dirigés vers l'aiguille aimantée. Son bras gauche tendu indique alors la direction vers laquelle le pôle Nord de l'aiguille se déplace.

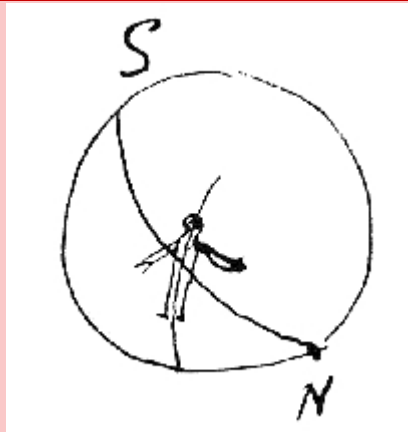
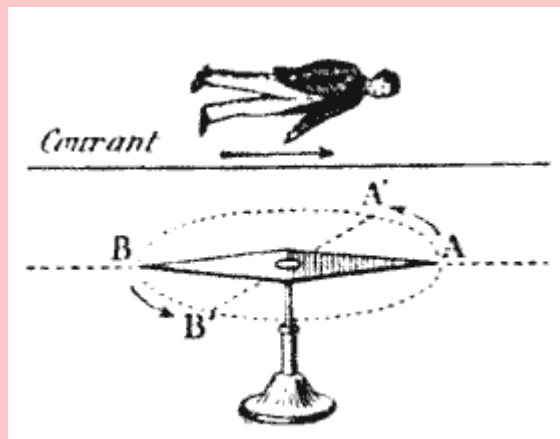


Figure 2 : Le « bonhomme d'Ampère » , présenté le 18 septembre 1820 (archives Académie des sciences). Comme le dit un physicien dans un manuel quelques années plus tard : « M. Ampère a levé toutes ces difficultés au moyen d'une comparaison qui semblera peut-être aussi bizarre qu'elle est ingénieuse. M. Ampère ne se contente pas de donner une direction au courant, il lui donne encore une tête, des pieds, une droite et une gauche ; il en fait un homme... » (Claude-Servais Pouillet, *Éléments de physique expérimentale et de météorologie*, t1, 1828, p. 680 ; cité par www.ampere.cnrs.fr). Le bonhomme d'Ampère aussi ci-dessous, image www.sabix.org.



@@@@@@@

[Caractérisation 2] Si le fil n'est pas à plus de trois quarts de pouce de l'aiguille, la déclinaison de celle-ci fait un angle d'environ 45 degrés. Si l'on augmente la distance, l'angle décroît à proportion. D'ailleurs, la quantité absolue de cette déviation varie selon que l'appareil est plus ou moins puissant.

L'effet est inversement proportionnel à la distance entre le fil et l'aiguille, et proportionnel à l'intensité du courant. Ørsted note ensuite que le type de métal constituant le conducteur influe peu sur la déviation de l'aiguille aimantée, car, bien qu'il l'ignore, Ørsted module peu la résistance de son fil et par conséquent, l'amplitude du courant conduit.

[Caractérisation 3] On peut changer la direction du fil conjointif vers l'est ou vers l'ouest, pourvu qu'il demeure parallèle à l'aiguille, sans autre changement dans le résultat que sous le rapport de son étendue ; d'où il suit que l'effet ne peut pas être attribué à l'attraction ; car le même pôle de l'aiguille qui se rapproche du fil conjointif lorsqu'il est du côté oriental, devrait s'en éloigner lorsqu'on le place du côté occidental, si ces déclinaisons dépendaient d'attractions ou de répulsions.

On suppose là que le fil, au début de l'expérience, est dans un plan parallèle à l'aiguille et placé ou tourné plus ou moins vers l'ouest de telle sorte que sa projection sur un plan horizontal passant par l'aiguille fait un angle quelconque avec l'aimant (figure 3 ci-dessous). Dans tous les cas, l'aiguille va dans la même direction (avec toutefois un effet moindre) : Ørsted en déduit que le phénomène ne résulte pas d'attractions ou de répulsions entre le fil et l'aimant : car que l'on incline le fil d'un côté ou de l'autre par rapport à la boussole, celle-ci va dans la même direction (elle n'est donc pas « attirée » par le fil).

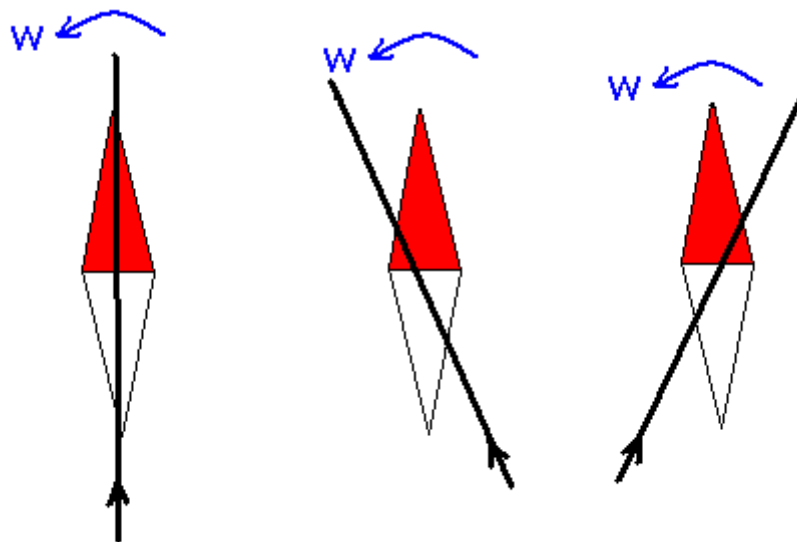


Figure 3 : Caractérisation [3]. Dans les trois cas, le fil conducteur est situé dans un plan au-dessus de la boussole. À gauche, c'est la situation de la caractérisation [1] (figure 1, en haut) – la partie rouge de l'aiguille va vers l'ouest. Au milieu, on commence l'expérience alors que le fil conducteur est orienté non plus parallèlement à la boussole, mais décalé d'un certain angle d'un côté ; à droite, il est décalé d'un certain angle de l'autre côté. Dans les deux cas, la partie rouge de l'aiguille va vers l'ouest – elle n'est pas attirée vers le fil. On peut vérifier ce déplacement vers l'ouest avec la règle des trois doigts ou du bonhomme d'Ampère : l'aiguille va vers l'ouest, le déplacement sur le plan horizontal est toutefois moindre que dans la caractérisation [1].

@@@@@@@

[Caractérisation 4] L'effet du fil conjointif sur l'aiguille aimantée a lieu au travers du verre, des métaux, du bois, de l'eau, de la résine (...).

Toutes ces substances interposées entre le conducteur et l'aiguille ne paraissent pas diminuer sensiblement l'influence de l'un sur l'autre.

[Caractérisation 5] Nous avons éprouvé que la même influence s'exerce sur une l'aiguille lorsqu'elle est placée dans une boîte de laiton remplie d'eau.

L'interposition, entre le fil et l'aiguille aimantée de diverses substances ne modifie pas les phénomènes observés (mais Œrsted n'avait pas utilisé de matériaux ferreux dans cette recherche). De même, le fait de mettre l'aiguille dans l'eau. Observant à ce propos que le passage de l'électricité « n'avait pas encore été observé au travers de ces diverses substances », il déduit que « le phénomène est différent de celui du conflit électrique ». Œrsted indique en fait que le champ magnétique traverse les substances non magnétiques et que les deux pôles d'un aimant "considérés séparément" interagissent de façon inverse avec un même courant. Œrsted comprend que le courant électrique, et son passage dans les matériaux, est une chose différente de l'effet de ce courant sur un aimant, c'est à dire du champ magnétique créé.

[Caractérisation 6] Si le fil conjonctif est disposé horizontalement sous l'aiguille, les effets (...) s'opèrent dans une direction inverse, c'est-à-dire que le pôle de l'aiguille sous lequel se trouve la partie du fil conjonctif qui reçoit l'électricité négative de l'appareil décline alors vers l'orient.

Il s'agit de la situation opposée à la situation de [caractérisation 1] ci-dessus.

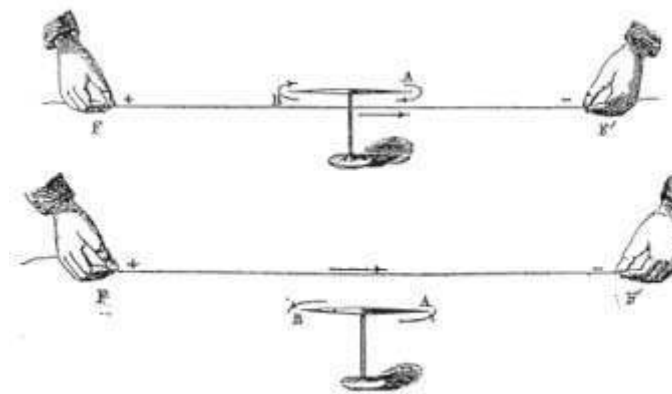


Figure 4 : Comparaison des situations 1 & 6. L'aiguille tourne dans l'autre sens. On peut vérifier la règle d'Ampère : un observateur placé sur le fil, traversé par le courant des pieds vers la tête, et regardant l'aiguille, indique avec son bras droit la direction que prend l'aiguille. [Illustration idem figure 2]

[Caractérisation 7] Si le fil conjonctif (toujours supposé horizontal) est tourné graduellement de manière à former un angle de plus en plus grand avec le méridien magnétique, la déclinaison de l'aiguille s'augmente si le

mouvement du fil tend vers le lieu de l'aiguille troublée ; elle diminue au contraire s'il s'en éloigne.

On ne comprend pas ce que signifie " le mouvement du fil tend vers le milieu de l'aiguille troublée". Mais la variation avec l'angle formé par les directions du fil et de l'aiguille est normale puisque le champ magnétique est un produit vectoriel.

Notons qu'Ampère rappellera que le champ agissant sur l'aimant est la somme des vecteurs champ crée par le fil et champ magnétique terrestre.

[Caractérisation 8] *Lorsque le fil conjonctif horizontal est rendu parallèle à l'aiguille (équilibrée par un petit curseur ou un contrepoids), il ne la fait décliner ni à l'est ni à l'ouest ; mais il l'incline dans un plan vertical, de manière que le pôle près duquel l'action négative de la pile s'exerce sur le fil s'abaisse quand le fil est situé du côté occidental, et s'élève quand il est du côté oriental.*

Ørsted décrit le cas où le fil et l'aiguille sont parallèles dans un même plan horizontal. Or, à Copenhague, l'aiguille d'une boussole a évidemment une inclinaison déterminée du pôle magnétique en dessous de l'horizon et n'était donc pas horizontale⁶, d'où la nécessité, pour rétablir l'horizontalité de l'aiguille et son parallélisme avec le fil conducteur, d'utiliser un contrepoids sur une partie de cette aiguille.

Dans ce cas, le bonhomme d'Ampère a le nez horizontal et son bras gauche est vertical. Le champ est vertical et l'aiguille dévie donc verticalement.

[Caractérisation 9] *Si l'on dispose le fil conjonctif, soit au-dessus soit en dessous de l'aiguille, dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique, elle demeure en repos ; à moins que le fil ne soit très voisin du pôle de l'aiguille ; car, dans ce cas, il s'élève quand l'entrée a lieu par la partie occidentale du fil, et il s'abaisse lorsqu'elle a lieu par la partie orientale.*

Lorsque le fil et l'aiguille sont à angle droit et horizontaux, le champ magnétique induit est dirigé dans un plan vertical, et l'aiguille ne tourne pas dans le plan horizontal. La déviation verticale est maximale lorsque le fil est voisin du pôle de l'aiguille.

6. La déclinaison magnétique avait été découverte par Robert Norman qui avait publié à Londres en 1581 un ouvrage intitulé *The new attractive. Containing a short discourse of the magnes or loadstone and amongst other his virtues of the new discovered secret and subtill propertie concerning the declination of the needle.* [La nouvelle attraction, contenant un court commentaire sur l'aimant et, entr'autres sur une propriété subtile et nouvellement découverte concernant la déclinaison de l'aiguille.] Norman avait déterminé la déclinaison de l'aiguille aimantée à Londres comme étant de 71 degrés et 50 minutes en 1576.

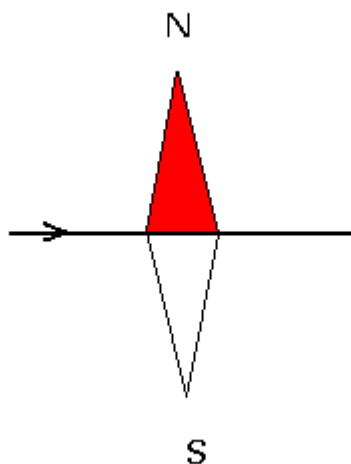


Figure 5 : Caractérisation [9]. Le champ magnétique induit est toujours perpendiculaire à l'élément de courant, il se situe donc dans le plan vertical passant par l'aiguille (on le vérifie avec le bonhomme d'Ampère ou la loi de Biot et Savart, cf. ci-dessous) ; l'aiguille ne se déplace donc pas dans le plan horizontal. En revanche, elle se déplace dans un plan vertical, et ceci est d'autant plus sensible que le fil est proche du pôle de la boussole.

[Caractérisation 10] Lorsqu'on dispose le fil conjonctif perpendiculairement vis-à-vis le pôle de l'aiguille, et que l'extrémité supérieure du fil reçoit l'électricité du côté négatif de l'appareil, le pôle de l'aiguille se meut vers l'orient ; mais si on place le fil vis à vis d'un point entre le pôle et le milieu de l'aiguille, elle marche à l'occident. Les phénomènes se présentent dans l'ordre inverse quand l'extrémité supérieure du fil conjonctif reçoit l'électricité du côté positif de l'appareil.

Le fil est cette fois-ci vertical, et le courant va de bas en haut (la partie supérieure du fil est reliée au pôle négatif de la pile). L'aiguille reste sur un plan horizontal. Suivant les positions respectives du fil et de l'aiguille, les déviations sont différentes.

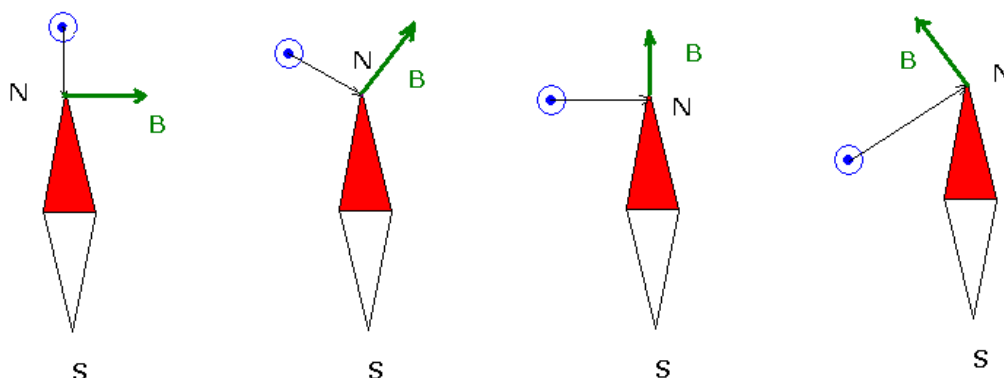


Figure 6 : Caractérisation [10]. Nous sommes dans un plan horizontal, et le rond bleu représente la trace du fil conducteur, perpendiculaire au plan, le courant allant vers le haut. On fait successivement « tourner » le fil conducteur vers la gauche. En position 1, à gauche, c'est la première situation décrite par Ørsted (« on dispose le fil conjonctif

perpendiculairement vis-à-vis le pôle de l'aiguille »). On applique la règle des trois doigts (loi de Biot et Savart, ci-dessous), le premier est le pouce pointant vers le haut le long du fil bleu, le second est l'index suivant le vecteur r joignant le point bleu au bout de l'aiguille, le résultat est le majeur, vecteur B pointant vers l'est : « l'aiguille se meut vers l'orient » comme indique Ørsted . On obtient le même résultat avec un bonhomme d'Ampère le long du fil bleu, tête en haut, regardant l'aiguille, et indiquant avec son bras gauche la direction de déviation. La deuxième position à gauche est identique. La troisième position en partant de la gauche est la position de transition : le vecteur B est dirigé vers le Nord, pas de déviation de l'aiguille. La position à droite est la deuxième situation décrite par Ørsted : « on place le fil vis-à-vis d'un point entre le pôle et le milieu de l'aiguille, elle marche à l'occident ».

[Caractérisation 11] *Une aiguille en laiton suspendue à la manière de celles d'acier n'est point mise en mouvement par l'influence du fil conjonctif (...) Le conflit électrique n'agit que sur les particules magnétiques de la matière. Tous les corps non magnétiques sont perméables au conflit électrique.*

Ørsted note ainsi que seul les matériaux magnétiques sont sensibles au passage du courant dans le fil.

@@@@@@@

À partir de ces caractérisations, Ørsted poursuit en émettant les hypothèses suivantes :

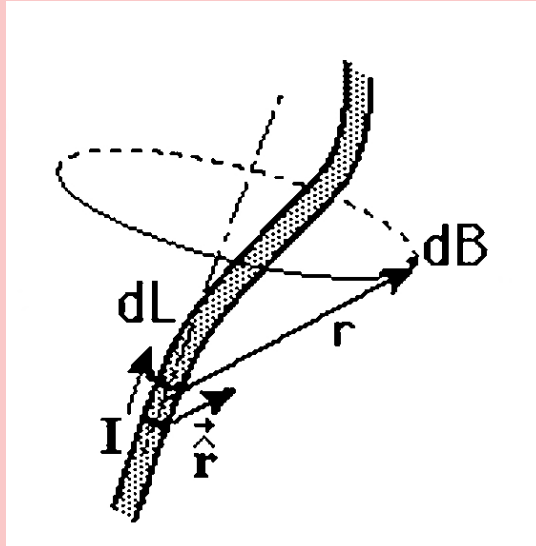
Il paraît, d'après les faits exposés, que le conflit électrique n'est pas renfermé dans le fil conducteur, mais qu'il a autour de lui une sphère d'activité assez étendue. On peut aussi conclure des observations, que ce conflit agit en tournoyant; car, sans cette supposition, on ne comprendrait pas comment la même portion de fil conjonctif, qui, placé en dessous du pôle magnétique, porte l'aiguille vers l'orient, la pousserait vers l'occident lorsqu'elle est au dessus de ce pôle. Mais telle est la nature de l'action circulaire, que les mouvements qu'elle produit ont lieu dans des directions précisément contraires aux deux extrémités d'un même diamètre. Il paraît encore que le mouvement circulaire combiné avec le mouvement progressif dans le sens de la longueur du fil conjonctif, doit former un genre d'action qui s'exerce en hélice autour de ce fil comme axe.

Nous décrivons aujourd'hui ceci en disant que le champ magnétique dû à un élément de courant est un produit vectoriel.

La loi de Biot et Savart

La loi de Biot et Savart est une relation entre les champs magnétiques et les courants qui sont leurs sources.

Soit $d\vec{L}$ la longueur infinitésimale de conducteur dans lequel circule le courant I . Soit \vec{r} le vecteur distance depuis l'élément de courant dL jusqu'au point extérieur où l'on veut calculer le champ (figure) ; soit \hat{r} le vecteur unitaire sur cette direction.



Le champ magnétique dû à un élément de courant est un produit vectoriel (μ_0 : étant la perméabilité du vide) :

$$d\vec{B} = \mu_0 \frac{I d\vec{L} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

La première publication de cette loi se trouve dans le Tome 15 (1820) des *Annales de Chimie et de Physique*, pages 222-223.

LA RECEPTION EN FRANCE DES TRAVAUX D'ØRSTED

Dans les mois qui suivent paraissent plusieurs travaux : ceux d'Ampère, *De l'action exercée par un courant électrique par un autre courant* (découverte de l'électrodynamique) ; ceux de Jean-Baptiste Biot (1774-1862) et Félix Savart (1792-1841) *Sur l'aimantation imprimée aux métaux par l'électricité en mouvement* (calcul de l'action d'un élément de courant sur un pôle magnétique) ; ceux de François Arago (1786-1853) *Expériences relatives à l'aimantation du fer et de l'acier par l'action du courant électrique* (découverte de l'électro-aimant) ; ceux de Michael Faraday (1791-1867) *Sur les mouvements électromagnétiques et la théorie du magnétisme* (premier moteur électromagnétique).

En effet, Arago, le premier, avait rendu compte de cette expérience à l'Académie des sciences le 4 septembre 1820. Le lundi 11 septembre, il y a répété les expériences d'Ørsted et a lu son mémoire. Ampère, qui assistait aux présentations d'Arago s'est immédiatement passionné par cette découverte. Dans un effort prodigieux, dont il rendra compte pendant sept semaines consécutives à l'Académie, il créera l'électrodynamique. L'Académie des sciences de Paris a été d'ailleurs la première à reconnaître l'importance des travaux d'Ørsted. Elle lui décerna, en mars 1822, une médaille d'or pour sa découverte, et lui ouvrit ses portes, en tant que correspondant, le 9 juin 1823.

Alors que ni Ørsted, ni personne d'autre n'avait osé conclure de son expérience que l'électricité et le magnétisme étaient deux formes d'un même phénomène susceptible d'agir l'une sur l'autre, Ampère en donne une interprétation⁷ définitive en septembre 1823. Les comptes rendus de la séance du 18 septembre 1820 de l'Académie des Sciences indiquent que : "M. Ampère lit un mémoire contenant des expériences qui lui sont propres et qui ajoutent de nouveaux faits aux expériences de M. Ørsted relatives à l'action du galvanisme sur le magnétisme". Il introduit alors dans ses notes d'expériences son « bonhomme d'Ampère ». Le 25 septembre 1820, "M. Ampère lit un mémoire sur les effets produits sur l'aiguille magnétique par la pile voltaïque et qui fait suite au mémoire lu à la séance précédente. Il annonce un fait nouveau, celui de l'action mutuelle de deux courants électriques, sans l'intermédiaire d'aucun aimant. Il fait des expériences pour prouver ce fait⁸, et elles remplissent le reste de la séance". Ampère montre que deux fils parallèles s'attirent quand l'électricité les parcourt dans le même sens et se repoussent si les courants électriques circulent en sens contraire. Ce 25 septembre, Ampère montre également qu'un conducteur enroulé en spirale peut être attiré ou repoussé, suivant le sens du courant, par le pôle d'un aimant, ce qui est l'effet réciproque de celui constaté par Ørsted, le solénoïde étant équivalent à un aimant.

Cette séance du lundi 25 septembre est vraiment mémorable "il y avait comme prédit les résultats obtenus depuis". Le 2 octobre, Ampère indique "qu'on pourrait former une sorte de télégraphe...". Le 9 octobre, "M. Ampère lit un

7. Ampère sait faire évoluer ses idées : dans son programme de cours de 1802 on peut lire : "Le professeur démontrera que les phénomènes électriques et magnétiques sont dus à **deux fluides différents**, et qui agissent indépendamment l'un de l'autre."

8. Ampère a effectué ses expériences historiques dans sa maison de Paris située au 19, rue des Fossés Saint Victor (aujourd'hui rue du Cardinal Lemoine où une plaque commémorative est apposée).

troisième mémoire contenant la suite de ses recherches sur l'aimant, l'électricité et la pile". Ampère indique lui-même : « C'est sur ces considérations générales [de symétries] que j'ai construit une expression de l'attraction de deux courants infiniment petits, qui n'est à la vérité qu'une hypothèse, mais la plus simple qu'on peut adopter et celle par conséquent qu'on doit adopter ».

@@@@@@

Ampère n'est pas le seul à vouloir donner une expression analytique rendant compte des observations. Jean-Baptiste Biot y travaille également avec acharnement et se livre à une véritable course contre Ampère pour calculer la force électromagnétique. Le 30 octobre Biot, aidé de Félix Savart⁹, montre que la force exercée par un très long fil sur un aimant est inversement proportionnelle à la distance. Le 18 décembre 1820, ils calculent la force exercée par un fil infiniment long sur un aimant, puis sur un autre fil, ils énoncent ainsi la fameuse loi, connue maintenant sous le nom de « loi de Biot et Savart » (encadré *supra*).

Quant à Ampère, inlassablement il poursuit son travail : il intervient de nouveau à l'Académie le 16 octobre, cette fois avec Arago, pour rapporter l'aimantation d'aiguilles d'acier soumises à l'action d'un fil électrique. Pour amplifier l'effet, Ampère enroule le conducteur en hélice, il invente ainsi le « solénoïde ». Il poursuit ses communications à l'Académie presque à chaque séance : le 30 octobre, le 6 novembre, le 13 novembre et le 27 novembre. C'est à cette époque qu'il construit le premier galvanomètre et qu'il invente, avec Arago, le 10 novembre, l'électro-aimant. Le 4 décembre, il retrouve par une autre voie la loi donnée par Biot. Il poursuit ses communications les 11 et 26 décembre et continue en janvier 1821 (les 8 et 15 janvier); ce n'est donc pas moins de treize communications à l'Académie des Sciences qu'Ampère aura présentées entre le 18 septembre 1820 et le 15 janvier 1821.

Finalement, Ampère consigne les principes fondamentaux de l'électrodynamique dans deux mémoires. Le premier s'intitule *De l'action exercée sur le courant électrique par un autre courant, le globe terrestre ou un aimant*. Il y décrit l'action mutuelle de deux courants électriques (ce qui lui permet de définir l'«ampère»), puis met en évidence l'action de la Terre (qu'il assimile à un

9. Félix Savart (1791-1841) est surtout connu pour la loi qui porte son nom. Il a également fait des travaux en acoustique, on lui doit en particulier le "disque de Savart", appareil permettant de produire un son à une fréquence bien définie. Elu membre de l'Académie des sciences le 5 novembre 1827, il enseigne au Collège de France à partir de 1828 et y deviendra professeur en 1836.

grand aimant) sur un courant, et enfin interprète l'«action mutuelle entre un conducteur électrique et un aimant».

@ @ @ @ @ @ @

Ampère a été également le premier à introduire la notion de courant électrique et à montrer que le courant qui traverse un circuit est le même en tout point¹⁰. Le théorème qui définit le champ magnétique produit par un courant permanent circulant dans un conducteur fermé est appelé théorème d'Ampère : la circulation du champ magnétique le long d'un circuit fermé C est proportionnelle à l'intensité I du courant traversant une surface quelconque limitée par C , ou à 0 si la courbe C n'embrasse pas le courant.

L'origine historique de ce théorème consiste en une proposition incluse dans un mémoire lu à l'Académie des sciences le 21 novembre 1825, proposition établissant l'équivalence d'un courant permanent circulant dans un circuit fermé et de ce que l'on a appelé, par la suite, un "feuillet magnétique". Ce théorème n'a pas été formulé explicitement par Ampère mais par Maxwell qui a décrit le travail d'Ampère comme suit : "One of the most brilliant achievements in science. The whole, theory and experiment, seems as if it had leaped, full-grown and full-armed, from the brain of the 'Newton of electricity'. It is perfect in form and unassailable in accuracy; and it is summed up in a formula from which all the phenomena may be deduced, and which must always remain the cardinal formula of electrodynamics."¹¹

CONCLUSION

Finalement, le papier d'Ørsted, bien que ne suggérant aucune explication satisfaisante de l'observation extraordinaire du fait qu'un fil parcouru par un courant électrique dévie l'aiguille d'une boussole placée à proximité, ni n'essayant de le représenter dans une formulation mathématique même approximative, a été déterminant pour changer totalement le cours des recherches ultérieures sur l'électricité et le magnétisme. Dans la même revue, en juillet 1820, Ørsted fera paraître un supplément intitulé *Neuere electro-magnetische Versuche* (Nouveaux essais électromagnétiques) où il indique que

10. Le terme « circuit électrique » est également dû à Ampère (*Annales de chimie et de physique*, tome XV, p. 59, 1820)

11. « L'une des plus brillantes réalisations scientifiques. L'ensemble, théorie et expériences, semble avoir surgi, complètement achevé et fortifié, du cerveau du *Newton de l'électricité*. Il est parfait dans sa forme, sa précision ne peut être mise en défaut et il est présenté par une formule de laquelle tous les phénomènes peuvent être déduits et qui restera toujours la formule cardinale de l'électrodynamique ».

l'effet sur l'aiguille aimantée croît avec la *quantité d'électricité*, c'est à dire l'intensité du courant parcourant le fil et qu'une spire suspendue parcourue par un courant tourne lorsqu'elle est disposée près d'un aimant et possède des pôles Nord et Sud.

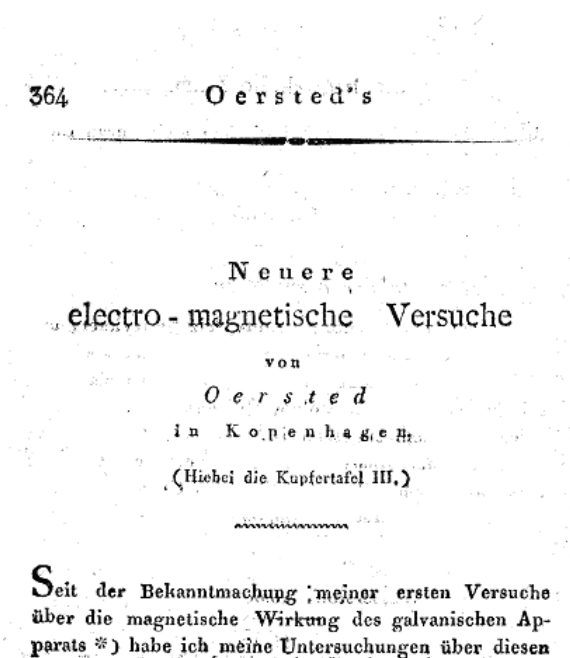


Figure 7 : *Journal für Chemie und Physik*, 1820, ajout en allemand d'Ørsted à son texte latin du même numéro. Le titre est « *Nouvelles expériences électromagnétiques* ».

V. Meisen cite dans son ouvrage *Prominent Danish Scientists*, (Copenhagen, 1932, p. 93), l'opinion de Faraday concernant le papier original d'Ørsted et son supplément: *It is full of important matter and contains in few words, the results of a great number of observations; and with the second paper, comprises a very large part of the facts, that are as yet known relating to the subject*¹².

De fait, le numéro de juillet 1820 du journal contenant le texte latin original ainsi que son supplément en allemand constitue l'acte de naissance de l'électromagnétisme¹³.



(janvier 2010)

12. « Il est plein de faits importants et d'un grand nombre d'observations, et avec le second papier il comporte une très grande partie des faits qui sont maintenant connus comme relatifs au sujet ».

13. L'ørsted, nommé en son honneur, est l'unité CGS de champ magnétique, égale à $79,577...A.m^{-1}$ (on vérifie avec la loi de Biot et Savart que le champ magnétique B est bien homogène à un courant divisé par une distance).

Annexe : La vie de Hans Christian Ørsted



C'est dans l'île de Langeland, l'une des plus petites îles de l'archipel du Danemark, que naît Jean-Christian Ørsted, le 14 août 1777, dans la petite bourgade de Rudkjöbing, où son père est apothicaire. Il est envoyé avec son frère Anders Sandøe dans une famille de la ville où ils apprennent la lecture, l'allemand et quelques rudiments d'arithmétique. Le jeune Christian souhaite étudier la théologie mais il entre, à l'âge de douze ans, comme apprenti chez son père. Finalement ce travail l'intéresse, il découvre le laboratoire de son père et lit avidement les ouvrages de chimie et d'histoire naturelle. Il bénéficie de cours à domicile de latin et de grec, apprend, par lui-même, le français et se passionne pour la poésie. Au printemps 1794, à dix-sept ans, il se rend à Copenhague pour poursuivre des études. Il passe, en 1797, avec brio, son examen de pharmacie et, deux ans plus tard, il obtient le grade de docteur en philosophie. L'étude des philosophes, particulièrement Kant et Schelling, le persuade d'une grande unité dans le monde physique. Il poursuit ses études, remporte un prix dans le domaine de la médecine, puis enseigne, en 1800, à la faculté de médecine. Ses premiers travaux portent toutefois sur la chimie et, comme tous les chimistes de l'époque, Ørsted se passionne pour la pile de Volta permettant la décomposition de diverses solutions salines. En 1801, Ørsted a vingt-trois ans, et suivant la

coutume qui existe chez les jeunes savants scandinaves et allemands à cette époque, il entreprend un voyage qui va durer deux ans et demi. Il commence par l'Allemagne, passe six mois à Berlin, séjourne quelque temps à Freiburg, à Iéna et à Munich. A Munich, Œrsted se lie d'amitié avec Ritter, qu'il admire profondément. Après l'Allemagne, Œrsted se dirige vers la France, à Paris il rencontre Cuvier, Haüy, Vauquelin, Berthollet, Biot, Guyton de Morveau, Thénard, ... Ayant visité l'École Polytechnique, Œrsted dit à Fourcroy qui y est professeur de chimie, "Je ne renonce pas à l'espérance de contribuer, par la suite, à établir [au Danemark] quelque chose de semblable à l'École Polytechnique". Sur la route de son retour, Œrsted passe par la Hollande, s'arrête à Harlem pour faire avec Van Marum des expériences d'électricité et, finalement, retrouve sa patrie en janvier 1804. A son arrivée, on le charge de cours de physique à l'université avant de devenir, en 1806, professeur extraordinaire (c'est-à-dire sans chaire). Ses cours, vivants et très appréciés, le font connaître. Par ailleurs, il publie des ouvrages techniques : *Expériences concernant les figures produites par les lignes nodales sur les surfaces vibrantes*, *Aperçu des lois chimiques naturelles*; ou historiques : *Considérations sur l'histoire de la chimie*, ou, enfin, empreints de philosophie : *Discours sur le plaisir que produit le son*. A cette époque, Copenhague n'est pas une grande capitale du monde savant et Œrsted décide de prendre connaissance de l'actualité scientifique directement, en effectuant un second voyage. Celui-ci a lieu du printemps 1812 à l'été 1813 et le mène en Allemagne, où il rencontre le physicien Seebeck, mais également le philosophe Hegel, et en France. A son retour, il se marie avec Brigitte Ballum, fille d'un prêtre protestant de Kjødby, petite bourgade de l'île de Møen. Le couple aura cinq filles et trois fils. En 1815, la Société royale des sciences de Copenhague le nomme secrétaire de cette institution et en 1817 il devient professeur ordinaire, c'est-à-dire titulaire d'une chaire.

Après ses expériences de 1820, Œrsted reprend le chemin de l'Allemagne en 1822. Il y rencontre Goethe, qui l'accueille chaleureusement et Seebeck avec qui il fait des expériences sur la thermo-électricité. Il séjourne ensuite, au premier semestre de l'année 1823, à Paris et fait plusieurs exposés à l'Académie. Vers le milieu de l'été, le 14 août précisément, il se rend en Angleterre (il traverse la manche sur un bateau à vapeur) et en Écosse. De retour à Copenhague, il se remet à la chimie, décompose pour la première fois l'alumine et obtient le chlorure d'aluminium (l'aluminium ne sera isolé que plus tard par Vöhler). Ses sujets d'intérêt et de recherche sont variés : diamagnétisme, compressibilité des gaz et des liquides, capillarité, etc. En 1829, Œrsted fonde à Copenhague une École polytechnique, dont la vocation est de former des jeunes gens destinés à travailler dans l'industrie ainsi que des enseignants. Ce projet, comme il l'avait indiqué à Fourcroy dès 1802, lui était cher. Il est nommé tout naturellement directeur de cette institution et y enseigne la physique. La vie d'Œrsted est alors

très active : il fonde une société pour la propagation de l'étude de la nature où sont créés des cours d'histoire naturelle, il est membre d'une société littéraire, se mobilise dans une association pour la liberté de la presse, etc. En 1846, alors qu'il a soixante-neuf ans, C̈ersted fait un nouveau périple en Allemagne, en France et en Angleterre. Ce voyage est un triomphe, il est reçu par les personnalités politiques et scientifiques les plus illustres. Sa réputation est immense. Le 7 novembre 1850, son pays célèbre, à l'occasion du cinquantième anniversaire de son entrée dans la fonction publique, son jubilé. On lui offre la jouissance du château de Fasanenhof, jolie résidence située dans le jardin de Frederiksberg, et le roi en fait son conseiller. Malheureusement, C̈ersted n'en profitera pas. Il meurt le 9 mars 1851, à l'âge de soixante-treize ans, des suites d'un rhume. Lors de son enterrement, deux cent mille personnes, précédées par les princes de la famille royale, suivent le convoi d'C̈ersted.

