

Aperçus sur l'histoire de l'électricité et du magnétisme

par Jean ROSMORDUC,

Faculté des Sciences et des Techniques, Brest.

Les premières connaissances relatives à l'électricité et au magnétisme sont très anciennes. Elles n'ont toutefois guère progressé jusqu'au XVII^e siècle pour la première, jusqu'au XIII^e siècle pour le second. Pour l'une comme pour l'autre, l'étude expérimentale a attendu les XVII^e et XVIII^e siècles ; leur constitution en tant que disciplines scientifiques modernes est intervenue au XIX^e siècle. L'apparition de l'électromagnétisme, quant à elle, date très précisément de 1820, année où le physicien danois Ørsted réalise l'expérience que nous décrirons plus loin.

C'est cette longue histoire que je voudrais évoquer ici, en me limitant aux faits essentiels.

THALES, PLINE, PLUTARQUE... ET LES AUTRES.

Différents auteurs signalent que Thalès de Milet savait qu'une tige d'ambre attire les corps légers. Pline et Plutarque précisent qu'elle doit être préalablement frottée (1).

Le même Thalès aurait su que *la pierre de Magnésie* — ou *pierre d'Héraclès* — attire le fer (2). Cette connaissance lui est peut-être toutefois antérieure puisque Plutarque écrit que les Egyptiens « ... appellent... *la pierre d'aimant os d'Horus, et le fer, os de Typhon, comme Manéthon le rapporte* » (3). Le sujet paraît avoir intéressé les Anciens ; il est en effet mentionné par de nombreux autres auteurs : Empédocle, Platon, Aristote, Lucrèce, Pline, Alexandre d'Aphrodisias... (4). Ils savent aussi que l'aimant peut communiquer la faculté d'attirer au fer qui le touche. La possibilité d'une répulsion est ignorée de la plupart d'entre eux. Ceux qui en font état — Pline, par exemple — la considèrent comme une exception, due à une pierre différente de celle qui attire (5).

Les explications apportées de ces phénomènes par les philosophes de l'Antiquité ont, bien évidemment, un caractère fantaisiste à nos yeux. Certaines relèvent de l'*animisme*. C'est ainsi que Thalès « ... accordait une âme aux choses qu'on croit inanimées ; il en donnait pour preuve l'ambre et la pierre de Magnésie » (6). D'autres (Empédocle, Lucrèce...) pensent que l'aimant est attiré par les « *effluves* » qu'il émet et qui pénètrent dans des « *pores* » du fer... (7).

Les Anciens connaissaient aussi des phénomènes naturels d'origine magnétique (l'aurore boréale) et électriques (la foudre, le feu Saint-Elme, le poisson-torpille...) mais sans être à même de les rapprocher des propriétés de l'aimant ou de l'ambre frotté.

PIERRE DE MARICOURT ET LA PREMIERE ETUDE EXPERIMENTALE DE L'AIMANT.

Les premiers siècles du Moyen Age développent, pour l'essentiel, des conceptions analogues à celles des auteurs de l'Antiquité. Il en est ainsi du byzantin Jean Philopon auquel on doit peut-être la découverte du fait que si une partie d'une pierre d'aimant attire le fer, une autre partie le repousse (8). Il en est ainsi également, plus tard, de plusieurs des commentateurs médiévaux d'Aristote, tels Averroès, Albert le Grand, saint Thomas d'Aquin... (9).

Si les connaissances relatives à l'électricité ne progressent pas et restent en fait ce qu'elles étaient à l'époque de Thalès, un progrès important relatif au magnétisme est consécutif à l'apparition de la **boussole**. L'aiguille aimantée mobile et son orientation vers le Nord auraient été, selon Hoppe, connues des Chinois dès avant notre ère et très certainement en 121 apr. J.-C. (10). L'instrument apparaît en Europe Occidentale et dans l'Empire Musulman, semble-t-il à la fin du XII^e siècle. Son usage se généralise dans le cours du XIII^e siècle (11).

La réflexion sur la boussole conduit un ingénieur militaire du duc d'Anjou, Pierre de Maricourt, à écrire, au cours du siège de la ville italienne de Luceria en 1269, une lettre qui rend compte de la **première étude expérimentale du magnétisme** de l'histoire (12). « *Par lui la science du magnétisme a d'un seul coup plus avancé qu'elle n'avancera en cinq siècles de lui à Coulomb* » (J. Daujat). L'auteur ne se lance pas dans des théories vagues sur la nature du magnétisme, il expérimente. Première notion, celle de « *pôle* » d'un aimant, par similitude avec la boussole. L'ingénieur constate que deux pôles de même nature se repoussent, que deux pôles opposés s'attirent. Il esquisse une notion qui préfigure celle de « *lignes de force* » (13). Il réalise

ce que l'on a appelé depuis « *l'expérience de l'aimant brisé* » : soit un barreau aimanté NS (fig. 1); on le coupe en deux, les

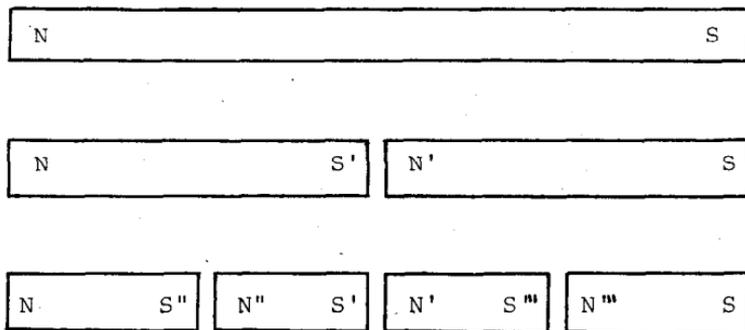


Fig. 1

deux nouvelles extrémités S' et N' sont elles-mêmes des pôles... et ainsi de suite. Le fragment provenant de l'aimant initial est lui-même un aimant possédant un pôle nord et un pôle sud. P. de Maricourt étudie également l'aimantation du fer par l'aimant; il essaye de définir la meilleure manière de fabriquer une boussole.

L'œuvre de Pierre de Maricourt a semble-t-il été diffusée de son temps. Ses traducteurs en ont recensé une trentaine de manuscrits, sept éditions dont trois « ... remontent à une époque où le texte exerçait encore une influence » (14). Elle a inspiré quelques auteurs dont le plus connu est le physicien anglais Roger Bacon (15).

Le Moyen Age et la Renaissance voient par ailleurs la persistance d'interprétations ascientifiques du magnétisme. Citons celles de N. de Cuse, J. Cardan... (16). A noter que l'on doit à ce dernier une comparaison des phénomènes électriques et magnétiques conduisant à une « ... distinction expérimentale nette... » (17) entre les deux catégories. Par ailleurs, parmi les physiciens qui développent de telles hypothèses, nombreux sont ceux qui connaissent les expériences de l'ingénieur du duc d'Anjou et les reprennent à leur compte.

L'EXPERIMENTATION AU XVII^e SIECLE DE W. GILBERT A O. DE GUERICKE.

Mais le continuateur véritable de Pierre de Maricourt est, à la fin du XVI^e siècle, le médecin de la Reine Elisabeth I^{re}, W. Gilbert. Son œuvre majeure, publiée en 1600, s'intitule « *Ma-*

gnete magneticisque corporibus et magno magnete tellure; Physiologia nova » (18).

Gilbert reprend dans son livre I, en le citant, les expériences de son lointain prédécesseur : distinction des pôles, propriétés, expérience de l'aimant brisé... La révolution astronomique se fait ici sentir. Pour P. de Maricourt, à une époque où la cosmologie de C. Ptolémée régnait sans partage, l'aiguille aimantée se dirigeait vers *les pôles de la sphère céleste*. Pour Gilbert, qui connaît l'œuvre de Copernic, elle s'oriente vers *les pôles de la sphère terrestre* (19). Il formule une théorie exacte de l'inclinaison magnétique et une théorie fautive de la déclinaison.

Dans des chapitres originaux, le médecin anglais constate la disparition de l'aimantation à haute température, détermine approximativement l'intensité des effets électriques à l'aide d'une « ...aiguille d'un métal quelconque, longue de trois ou quatre doigts, assez légère, posée sur un pivot comme la boussole magnétique : si tu approches de son extrémité l'ambre frotté, aussitôt le versorium tourne... » (20). Les instruments dont il dispose lui permettent de démontrer que les effets électriques et magnétiques sont fonction de la distance. Il découvre *l'aimantation par influence* : un morceau de fer, placé dans le voisinage d'un aimant, s'aimante sans qu'il soit nécessaire d'établir un contact entre les deux objets. Par suite de l'analogie de leurs effets mécaniques, le physicien émet l'idée d'une similitude de nature entre l'électricité et le magnétisme ; il n'a, à l'évidence, pas les moyens d'aller bien loin dans cette direction.

L'explication, donnée par Gilbert des phénomènes qu'il observe, repose sur l'existence d'effluves électriques et magnétiques. Son inspiration n'est donc pas, sur ce point, très différente de celles de certaines théories anciennes. L'intérêt — très important — de son œuvre repose essentiellement sur **le travail expérimental** qu'elle contient. Gilbert est, à cet égard, un digne produit d'une époque dont l'un des fleurons est Galilée (21). Quelques développements sur l'électricité et le magnétisme se trouvent ensuite chez Cabéo — qui découvre **la répulsion électrique**, Képler, Descartes — qui fait grand usage des spectres magnétiques, Huygens... (22).

Un pas décisif est accompli dans le domaine de l'expérimentation en électricité par Otto de Guéricke (23). Il invente en 1650 une machine pneumatique à faire le vide laquelle permettra, outre une expérience célèbre sur la pression atmosphérique, de faire des expériences sur les corps électrisés dans l'air raréfié. Il réalise ensuite, en 1660, **une machine électrostatique**. Elle est basée sur l'idée que la répétition de l'effet de frottement — tel celui que l'on obtient avec la tige d'ambre — doit se traduire

par la production d'une quantité notable d'électricité. Le premier dispositif d'Otto de Guéricke est constitué par un globe de soufre qui tourne autour d'un axe grâce à une manivelle; le frottement est celui de la main de l'expérimentateur qui la met au contact de la sphère. Au bout de quelques tours, cette dernière attire les corps légers du voisinage. Le système a ensuite été amélioré par différents physiciens (Otto de Guéricke lui-même, Nollet, Ramsden...); (24) le globe a parfois été remplacé par un disque (de verre, par exemple); à la main, l'on a substitué des balais; les charges créées ont été recueillies par des boules conductrices (les éclateurs)...

Bien que sommaire l'invention d'Otto de Guéricke donne aux physiciens des possibilités sensiblement plus grandes que celles de leurs prédécesseurs. Elle est à l'origine de l'essor de l'électricité expérimentale au XVIII^e siècle. L'inventeur lui-même découvre *le pouvoir des pointes*, reprend le travail de Cabeo sur la *répulsion électrique*, découvre *la conduction électrique*... A la même époque, le physicien anglais R. Boyle (25) constate que les phénomènes d'attraction électrique se produisent également dans le vide et met en évidence *l'électrisation par influence* (26).

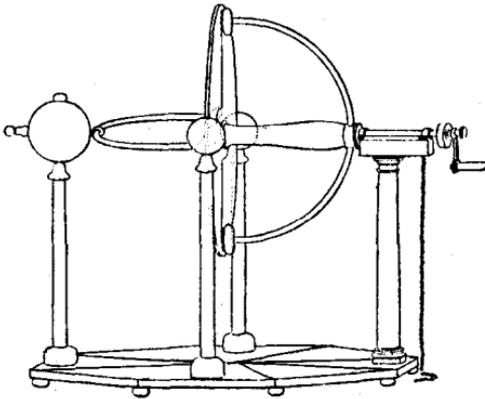


Fig. 2. — Machine électrostatique (d'après J. B. Biot, « *Traité élémentaire de Physique expérimentale* »).

L'ELECTROSTATIQUE AU XVIII^e SIECLE.

Le XVIII^e siècle a vu se produire une succession de travaux expérimentaux avant que la loi fondamentale de l'électrostatique soit formulée par le Français C. Coulomb (27).

S. Gray constate en 1729 que les fils métalliques sont susceptibles de conduire au loin la « *vertu électrique* » mais ne la

conservent pas. On ne peut, par ailleurs, les électriser par contact ou par influence que s'ils sont isolés. Par contre, les substances qui sont électrisables par frottement conservent la dite « *vertu* ». Ainsi est faite, pour la première fois, la distinction entre **conducteurs** et **isolants**. Gray reprend les expériences de von Guéricke sur le pouvoir des pointes, l'électrisation par influence, et prouve « ... *que ce n'est pas la masse des corps mais leur surface qui importe pour la quantité d'électricité* » (28).

Ces considérations sont approfondies par Dufay. Il revient en particulier sur les propriétés des isolants et des conducteurs. Pour lui ces derniers sont également électrisables par frottement mais l'électricité ainsi produite s'écoule très rapidement par leur intermédiaire. Il classe les corps isolants en deux catégories. Quand on frotte, par exemple, de l'ambre et du verre, les deux corps électrisés s'attirent. Au contraire, deux tiges d'ambre frottées se repoussent. Il en est de même pour deux tiges de verre. Dufay annonce de ce fait la distinction de **deux sortes d'électricité** : la première — *l'électricité résineuse* — se forme quand on frotte des substances comme l'ambre, la gomme copal, la cire d'Espagne... ; la seconde — *l'électricité vitrée* — se forme quand on frotte des corps comme le verre, le quartz... (29).

S'inspirant des expériences de Gray et Dufay, Von Kleist réalise en 1749 le premier **condensateur** de l'histoire de la physique, baptisé *bouteille de Leyde* par Nollet (30) (fig. 3). D'autres

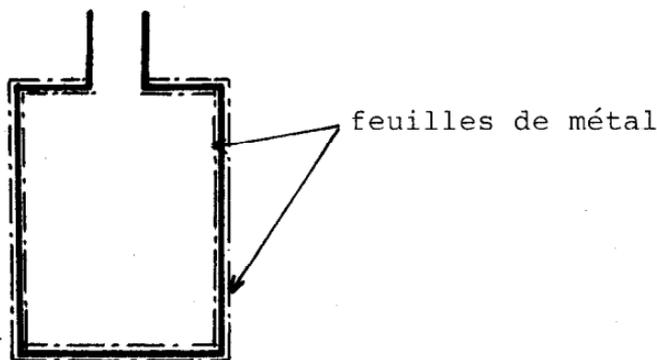


Fig. 3. — Bouteille de Leyde.

dispositifs du même type sont mis au point au cours des décennies qui suivent, tels ceux d'Aepinus, de Franklin,... (31). Ce dernier invente le paratonnerre (1747), reconnaît la nature électrique de la foudre (1752) ; il substitue l'expression d'*électricité positive* à celle d'*électricité vitrée*, d'*électricité négative* à *électricité résineuse*...

Les physiciens du XVIII^e siècle expérimentent mais émettent aussi des hypothèses sur la nature du phénomène électrique. L'existence de **deux fluides**, l'un d'*électricité positive*, l'autre d'*électricité négative*, est admise par R. Symmer en 1759 (32). Franklin et Aepinus, quant à eux, jugent qu'il existe **un fluide électrique unique**, une « ... *matière électrique...* », formée de « ... *particules extrêmement subtiles...* » (33). Aepinus, par analogie, conjecture l'existence d'un *fluide magnétique*, émis par les aimants.

L'on sait que le physicien anglais I. Newton avait démontré à la fin du XVII^e siècle que deux masses m et m' exercent l'une sur l'autre une force attractive f , proportionnelle à m et m' et inversement proportionnelle à la distance r qui sépare les deux masses, considérées comme ponctuelles (loi d'attraction universelle) (fig. 4). Influencés par l'œuvre de Newton (34), de nom-

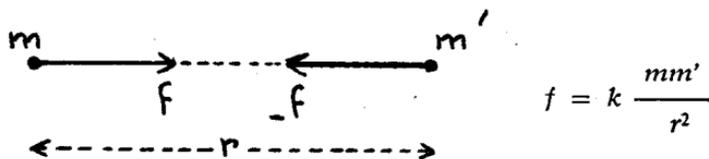


Fig. 4

breux physiciens du XVIII^e et du XIX^e siècles ont tenté de retrouver à l'origine de divers phénomènes la conséquence de l'action de forces de même forme que cette force d'attraction universelle (ou de gravitation). Cette tendance existe aussi en électrostatique. L'un de ses représentants est l'anglais Priestley qui avance, extrapolant à partir d'une unique expérience, que « ... *l'attraction de l'électricité est soumise aux mêmes lois que celles de la gravitation et qu'elle suit par conséquent les carrés des distances...* » (35). La loi en $1/r^2$ pour les charges électriques est effectivement démontrée expérimentalement par Cavendish (36). L'on doit au même auteur la définition de la *capacité* d'un condensateur.

La transformation décisive de l'électrostatique en science constituée est due à l'ingénieur français C. Coulomb (37). Après des travaux sur le frottement et sur la torsion des fils, il publie une impressionnante série de Mémoires sur l'électricité et le magnétisme. Mettant à profit ses recherches sur la torsion, il invente en 1785 une *balance électrostatique* qui lui permet ensuite d'étudier expérimentalement les phénomènes électriques (fig. 5). Sur le même principe, il met ensuite au point une *balance magnétique*.

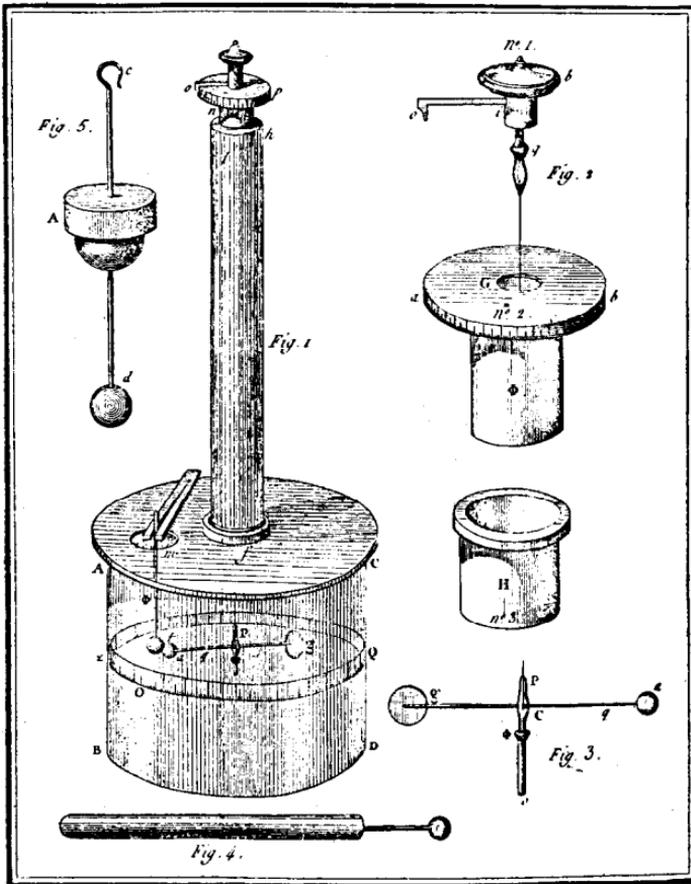


Fig. 5. — Balance de Coulomb.

Suite aux résultats obtenus, il publie ce qui restera dans l'histoire comme les « **lois fondamentales de l'électricité et du magnétisme** » : « ...l'action, soit répulsive, soit attractive de deux globes électrisés, et par conséquent de deux molécules électriques, est en raison composée des densités du fluide électrique des deux molécules électrisées et inverse du carré des distances... ; ...la force attractive et répulsive du fluide magnétique est exactement, ainsi que dans le fluide électrique, en raison composée de la directe des densités, et inverse du carré des distances des molécules magnétiques... » (38). Les théories classiques de l'électrostatique et du magnétisme ont ensuite été édifiées, au XIX^e siècle, par divers physiciens et mathématiciens. Citons notamment Gauss, Poisson, Green... (39).

LA PILE DE VOLTA.

La découverte de la **pile électrique** par le physicien italien Volta et les expériences qui en ont découlé, vont, comme l'écrit Volta lui-même, « ... ouvrir un champ assez vaste de réflexions... » (40) et mener à la construction de la science électrique contemporaine.

L'origine de l'innovation réside dans des expériences, faites aux alentours de 1780-1790, par le médecin, italien lui aussi, Galvani. Ce dernier, professeur d'anatomie, constate qu'une cuisse de grenouille se contracte dans diverses occasions : par temps d'orage quand on la touche avec un scalpel ; quand elle reçoit une décharge électrique ; quand elle touche une tige de fer à laquelle elle est suspendue par un fil de cuivre... Galvani attribue le phénomène à une « *électricité animale* » ... « ... *inhérente à l'animal lui-même...* » (41).

Le physicien Volta, quant à lui, croit qu'il provient de la présence des deux métaux différents, le fer et le cuivre ; la cuisse de grenouille serait alors un simple détecteur de la présence d'électricité. Selon Volta, chaque métal posséderait un « *pouvoir électromoteur* » propre. De ce fait, mis en contact, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un tissu humide, deux métaux quelconques produiraient de l'électricité, cette dernière dépendant de la nature des dits métaux (42). En application de ses idées, Volta réalise en 1800 un dispositif qui gardera le nom de **pile** : il s'agit en effet d'un empilement alternativement de plaques de cuivre (ou d'argent) et de plaques de zinc (ou d'étain), séparées par des morceaux de carton imbibés d'eau (ou d'eau salée, ou de lessive...). La première pièce étant, par exemple, de cuivre, et la dernière de zinc, à partir d'une vingtaine d'éléments successifs selon Volta, l'instrument « ... *imite... les effets des bouteilles de Leyde...* » (43). Il est donc susceptible de déclencher une petite commotion dans la main, de faire varier un électroscope... ou de provoquer la contraction d'une patte de grenouille. L'intensité des effets est moins violente qu'avec la bouteille de Leyde mais ils sont de plus longue durée. L'« *organe électrique artificiel* », ainsi créé, est « ... *actif par lui-même, sans aucune charge précédente, sans le secours d'une électricité quelconque excitée par aucun des moyens connus jusqu'ici ; agissant sans cesse et sans relâche...* » (44).

Le **premier générateur de courant électrique** est né. Son temps de vie est, comme on le sait, très limité. Le passage du courant provoque une décomposition de l'eau qui imbibe le carton. Du fait du dégagement des gaz sur le cuivre et le zinc, la chaîne des conducteurs de la pile est modifiée et elle cesse assez rapidement de fonctionner. Des piles plus performantes seront

ultérieurement inventées, telles celles de Becquerel (1829), de Bunsen (1843) et de Leclanché (1868) (45). Le premier **accumulateur** sera réalisé par Planté en 1859.

L'année même de la découverte de Volta, Carlisle et Nicholson (46) découvrent cette décomposition de l'eau par le courant, c'est-à-dire **l'électrolyse**. Davy comprend tout l'intérêt du phénomène. Il parvient, en l'utilisant, à décomposer en 1807 la potasse en plaque et la soude fondue, mettant en évidence deux nouveaux éléments, *le potassium* et *le sodium* (47). L'électrolyse s'est ainsi révélée un auxiliaire efficace de la chimie; d'autres éléments (le baryum, le strontium, le magnésium, le calcium, le chlore...) ont ensuite été découverts. La théorie de l'électrolyse a fait l'objet d'interventions de Davy, Grotthus, Berzélius..., plus tard de De la Rive, Faraday, Clausius, Arrhénius... (48). Les lois quantitatives du phénomène ont été établies en 1832 par Faraday.

Le concept d'*intensité du courant* est défini par Ampère (49). Les lois fondamentales régissant la circulation de ce courant sont établies expérimentalement par Ohm en 1826. Il définit *la résistance* d'un conducteur et ce qu'il appelle *la force électroscopique* (la force électromotrice) du générateur. En 1827, en transposant les équations de Fourier sur la conduction de la chaleur, il en établit la théorie mathématique. Cette théorie est complétée par Kirchhoff en 1845 (50).

L'ELECTROMAGNETISME.

En 1819, le physicien danois Ørsted, qui recherchait semblait-il depuis plusieurs années à établir un lien entre les phénomènes électriques et magnétiques, réalise une expérience qui met en évidence **un effet magnétique produit par le courant électrique** (51). Une boussole est placée parallèlement à un fil conducteur AB (fig. 6 a) relié à une pile par l'intermédiaire d'un circuit comprenant un interrupteur. Le physicien ferme l'interrupteur. Un courant passe dans le circuit. L'aiguille **aimantée** tourne alors d'un angle α (fig. 6 b). « *La déviation est* », écrit Ørsted, « *inversement proportionnelle à la distance du fil à l'aiguille et fonction de la puissance de l'appareil galvanique* » (52). L'expérimentateur inverse les pôles de la pile : l'aiguille dévie à nouveau et d'un angle égal au précédent, mais en sens inverse. **L'électromagnétisme** est né.

Le Mémoire d'Ørsted a été publié en 1820, traduit en français la même année. Il a aussitôt suscité un immense intérêt chez les physiciens et provoqué la réalisation d'une foule d'expériences nouvelles. En septembre 1820, Ampère montre que les courants, passant dans deux fils conducteurs parallèles proches l'un de

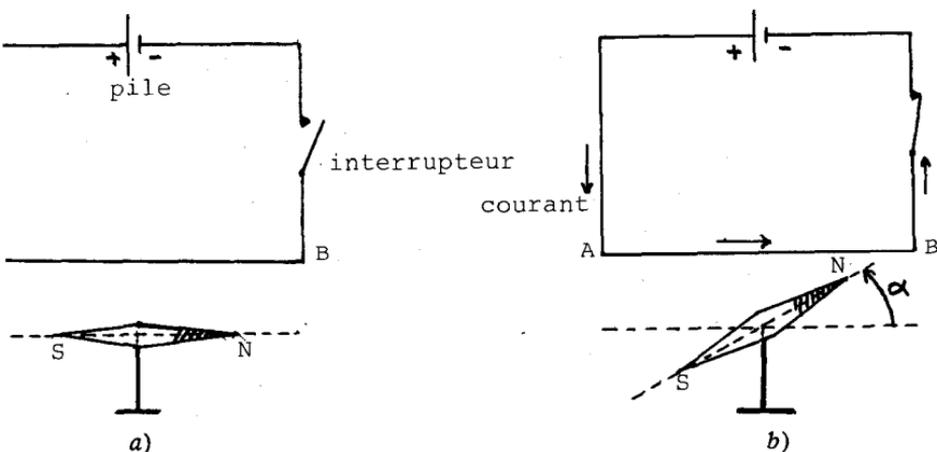


Fig. 6

l'autre, exercent entre eux des actions, soit d'attraction, soit de répulsion, selon leurs sens réciproques. Le même mois, Arago invente l'*électro-aimant* en faisant passer un courant dans un fil conducteur enroulé autour d'un morceau de fer doux (53) et Faraday étudie les champs magnétiques produits par des circuits électriques de différentes formes. En 1821, Ampère réalise le premier *galvanomètre*, Seebeck découvre l'*effet thermoélectrique*... Une expérience de Barlow, en 1822, décrit la première forme de moteur électrique de l'histoire (roue de Barlow) (54)... Le seul, Ampère publie quinze textes sur l'électromagnétisme de septembre 1820 à décembre 1823. Si les autres physiciens de l'époque ne furent pas tous aussi prolifiques que l'auteur de la « *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience* » (1826), nombre d'entre eux publièrent sur le sujet plusieurs Mémoires. On a rarement vu une expérience provoquer aussi rapidement pareille floraison de découvertes importantes. La production qui a suivi la communication donne l'impression du résultat de la chute d'une graine, au bon moment, dans un terrain bien préparé.

Une étape cruciale est marquée par la découverte de l'**induction** par Faraday en 1831. La succession d'expériences du physicien anglais peut être résumée comme suit : il enroule un fil de cuivre sur une partie d'un anneau de fer doux ; les spires de cuivre sont isolées entre elles et l'anneau. Faraday procède de même avec un autre fil de cuivre avec la partie de l'anneau en regard de la première. Il a ainsi deux enroulements A et B de fil conducteur. Les extrémités de l'enroulement A sont reliées à une pile et un interrupteur, celles de B à un galvanomètre (fig. 7).

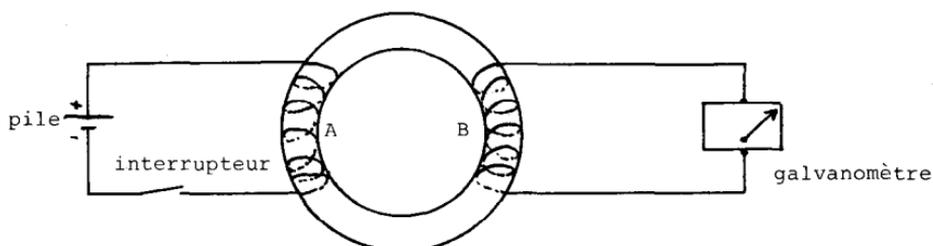


Fig. 7

L'expérimentateur constate que quand il ferme l'interrupteur, l'aiguille du galvanomètre oscille un instant avant de revenir au zéro. Même effet quand il ouvre l'interrupteur. Le fait donc pour le courant dans le premier circuit de passer d'une intensité nulle à une intensité I occasionne une brève production d'électricité dans le second circuit. Même constatation quand le courant passe de I à zéro. Faraday dispose maintenant d'un solénoïde, dont les extrémités sont reliées à un galvanomètre, et d'un barreau aimanté NS (fig. 8). Le tout étant immobile, l'aiguille du galvanomètre est au zéro. Le physicien déplace l'aimant, soit en l'approchant, soit en l'écartant du solénoïde. Pendant le temps du mouvement l'aiguille dévie : un courant est donc passé dans le circuit.

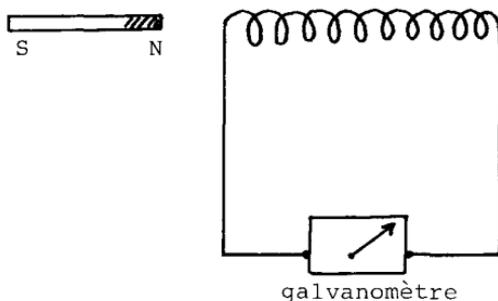


Fig. 8

Faraday place maintenant un barreau aimanté pouvant tourner autour de son axe face à une bobine plate dont les extrémités sont reliées à un galvanomètre (fig. 9).

Quand l'aimant tourne, l'aiguille du galvanomètre varie. Si elle peut dévier, soit à droite, soit à gauche, suivant le sens du courant, on constate que le sens de déviation de l'aiguille

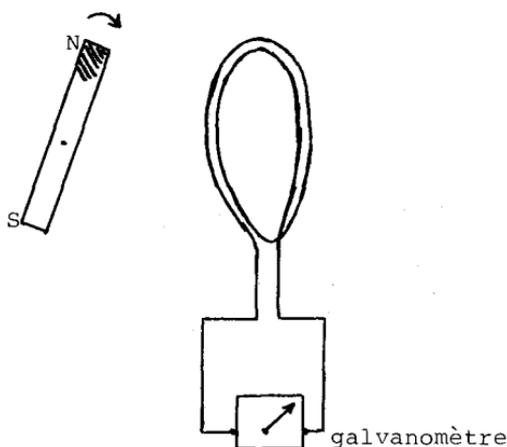


Fig. 9

change quand le pôle nord de l'aimant passe à proximité de la bobine au lieu du pôle sud, et inversement (55). Dans chacune des expériences décrites s'est produite (du fait de la fermeture ou de l'ouverture du circuit dans la première, du mouvement de l'aimant dans les deux autres) **une variation du flux magnétique** au travers du circuit contenant le galvanomètre. Cette variation **a induit** un courant électrique dans ce circuit. Quand la variation est périodique — ce qui est le cas de la dernière expérience —, le courant est alternatif.

Les conséquences des progrès de *l'électrodynamique et de l'électromagnétisme* de 1820 à 1831 sont multiples. Nous en citerons quelques-unes.

La naissance de *l'électrotechnique industrielle*, d'une part, avec notamment l'invention de nouveaux générateurs électriques (*dynamo* Gramme, 1865-1872; *alternateur* de Tesla, 1883...) et de différents moteurs électriques (moteurs Gramme, 1880; moteur synchrone de Ferraris, 1894); (moteurs synchrones et asynchrones polyphasés de Tesla, 1888-1896). Citons également dans ce domaine l'invention du *transformateur* (Gaulard, 1883) et celle de plusieurs appareils de mesure : électrodynamomètre (Weber, 1841), galvanomètre à cadre mobile et à miroir (W. Thomson, 1867), galvanomètre à cadre mobile (Deprez et d'Arsonval, 1882)... (56).

Le développement de la théorie de l'électromagnétisme, d'autre part, où le travail essentiel a été effectué par J. C. Maxwell. Partant de la loi d'Ampère relative aux effets magnétiques produits par un circuit et de celle de Faraday relative au courant

induit par une influence magnétique variable, s'inspirant d'un mode de raisonnement dû à Thomson, Maxwell compare les lignes de forces magnétiques « ... par une analogie hydrodynamique à celles du courant de matière dans un fluide incompressible en mouvement permanent » (57). Il émet l'hypothèse de l'existence d'une perturbation électromagnétique. Cette perturbation se traduit par la propagation dans l'espace de ce que l'on appelle maintenant **un champ électromagnétique** variable, constitué d'un champ électrique et d'un champ magnétique, perpendiculaires entre eux et perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde créée. Maxwell parvient ainsi, dans le cadre d'une série d'importants Mémoires publiés de 1855 à 1865, à établir les quatre équations différentielles qui, régissant la propagation de ces champs, permettent de déterminer à un instant donné l'état électromagnétique de l'espace. Constatant qu'il découle de sa théorie que la vitesse de propagation de la perturbation électromagnétique et celle de la lumière dans le vide sont égales, il avance en 1864 que la lumière est une onde électromagnétique. Cette hypothèse lui paraît être confirmée par divers résultats expérimentaux, notamment par la *polarisation rotatoire magnétique*, découverte par Faraday en 1845.

La théorie de Maxwell n'a pas été vérifiée de son vivant, sinon par certaines de ses conséquences. Cette vérification a été l'œuvre de Hertz qui publie à ce propos trois Mémoires décisifs en 1887 et 1888. « *Nous ignorons sans doute* », écrit Maxwell, *jusqu'au nom de la science qui sortira des matériaux que nous avons réunis, lorsque le prochain grand philosophe qui succèdera à Faraday fera son apparition* » (58). Ces « matériaux » ont contribué à la naissance de l'électronique et constitué la théorie — toujours valable — de la propagation des ondes électromagnétiques.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTEBI E., « *La grande épopée de l'électronique* », Ed. Hologrammes, Paris - New York, 1982.
- BAUER E., « *L'électromagnétisme, hier et aujourd'hui* », A. Michel, Paris, 1949.
- BLONDEL C., « *Ampère et la création de l'électrodynamique* », Bibliothèque Nationale, Paris, 1982.
- CAZENOBÉ J., « La visée et l'obstacle - Etude et documents sur la pré-histoire de l'onde hertzienne », « *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences* », n° 5, 1983.
- DAUJAT J., « *Origine et formation de la théorie des phénomènes électriques et magnétiques* », 3 t., Hermann, Paris, 1945.
- DAUMAS M. et coll., « *Histoire Générale des Techniques* », t. IV, P.U.F., Paris, 1978.
- DEVAUX P., « *Histoire de l'électricité* », P.U.F., Paris, 1969.
- HOPPE E., « *Histoire de la physique* », trad. franç., Payot, Paris, 1928.
- MASSAIN R., « *Physique et physiciens* », Magnard, Paris, 1966.
- ROSMORDUC J., « *Une histoire de la physique, de Thalès à Einstein* », Ed. du Seuil, Paris, 1985.
- ROSMORDUC J. et BREZEL P., « L'électronique, de l'éclateur de Hertz au microprocesseur », *Cahiers Maupertuis*, n° 2, 1985, C.R.D.P. de Rennes.
- TATON et coll., « *Histoire Générale des Sciences* », 4 t., P.U.F., Paris, 1959-1966.
- Ouvr. collectif, « *Histoire de la physique* », t. I, « *La Constitution de la physique classique* », Ed. Technique et Documentation, Paris, 1987.

NOTES

- (1) L'ambre (jaune ou rouge) est une résine fossile qui sert notamment à confectionner des bijoux. Les Grecs anciens la faisaient venir du nord de l'Europe.
- (2) Ou *Pierre d'Héraclée*. Il s'agit de roches composées d'oxyde magnétique de fer Fe_3O_4 . Magnésie est le nom d'une ville au voisinage de laquelle le minerai était extrait.
- (3) Plutarque, « *Isis et Osiris* », trad. franç., Paris, 1924, p. 185-186.
- (4) Thalès (VI^e s. av. J.-C.); Empédocle (490 - 435 av. J.-C.); Platon (428 - 348 av. J.-C.); Aristote (384 - 322 av. J.-C.); Lucrèce (98 -

- 55 av. J.-C.); Pline (23 - 79); Plutarque (46 - 125); Alexandre d'Aphrodisias (II^e - III^e s.).
- (5) Voir J. Daujat, « *Origine et formation de la théorie des phénomènes électriques et magnétiques* », t. I, Hermann, Paris, 1945.
 - (6) Diogène Laerce, « *Vie, doctrines et sentences des philosophes illustres* », trad. franç., t. I, I.G.F., Paris, 1965, p. 52.
 - (7) J. Daujat, op. cité note (5), p. 14-37.
 - (8) Jean Philopon, VI^e s. — Voir J. Daujat, op. cité, p. 45-47.
 - (9) Averroès, 1126-1198; Albert le Grand, 1200 - 1280; Saint Thomas d'Aquin, 1227 - 1274 — Voir J. Daujat, op. cité note (5), p. 51-78.
 - (10) E. Hoppe, « *Histoire de la Physique* », trad. franç., Payot, Paris, 1928, p. 430-431.
 - (11) Voir J. Daujat, op. cité p. 79-80.
 - (12) Le texte de cette lettre et sa traduction ont été publiés par la Revue d'Histoire des Sciences : P. Radelet de Grave, D. Speiser, « *Le De Magnete* de Pierre de Maricourt - Traduction et commentaire », R.H.S., t. XXVIII, n° 3, juillet 1975, p. 193-234.
 - (13) Voir P. Radelet de Grave, « Les lignes magnétiques du XIII^e siècle au milieu du XVIII^e siècle », *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, n° 1, 1982. Selon l'auteur, le premier à avoir donné un nom aux pôles est Vincent de Beauvais qui, en 1250, les avait baptisés « *Angulus* ».
 - (14) P. Radelet de Grave et D. Speiser, op. cité note (12), p. 198-199.
 - (15) Roger Bacon, physicien de l'Ecole d'Oxford (1124-1194), également auteur de travaux sur l'optique.
 - (16) N. de Cuse (1401 - 1464); J. Cardan (1501 - 1576).
 - (17) E. Bauer, « *L'électromagnétisme, hier et aujourd'hui* », A. Michel, Paris, 1949, p. 20.
 - (18) William Gilbert, 1540 - 1603.
 - (19) Le système de l'Univers de C. Ptolémée (1^{er} - 2^e siècle), hérité de la tradition grecque classique, est **géocentrique**. La Terre est immobile au centre de l'Univers; des sphères cristallines tournent autour d'elle, entraînant les planètes, les étoiles..., l'axe de rotation passant par *les pôles de la sphère céleste*. N. Copernic (1473 - 1543) a publié en 1543 un ouvrage qui propose un modèle **héliocentrique** du monde : le Soleil est immobile au centre de l'Univers, la Terre tournant autour de lui comme Mars, Vénus...
 - (20) Cité par E. Bauer, op. cité note (17), p. 22-23.
 - (21) Voir E. Bauer, op. cité, p. 20-33; G. Galilée, 1564 - 1642.
 - (22) Cabéo, 1586 - 1650; Képler, 1571 - 1630; Descartes, 1596 - 1650; Huygens, 1629 - 1695.
 - (23) O. de Guéricke, 1602 - 1686.

- (24) Nollet, 1700 - 1770 ; Ramsden, 1735 - 1800.
- (25) R. Boyle, 1627 - 1691.
- (26) Voir E. Bauer, op. cité note (17), p. 39-44.
- (27) C. Coulomb, 1736 - 1806.
- (28) E. Hoppe, « *Histoire de la Physique* », trad. franç., Payot, Paris, 1928, p. 442-443.
S. Gray, 1670 - 1736.
- (29) C. Dufay, 1696 - 1739.
- (30) La même découverte a été faite par Muschenbroeck, professeur à Leyde, en 1746. Elle a été connue à Paris avant celle de Von Kleist.
Von Kleist, 1700 - 1748 ; Muschenbroeck, 1692 - 1761.
- (31) Voir E. Hoppe, op. cité, p. 448-451 ; B. Franklin, 1706 - 1790 ; F. Aepinus, 1724-1802.
- (32) R. Symmer, mort en 1763.
- (33) Cité par E. Bauer, op. cité note (17), p. 54.
- (34) I. Newton, 1643 - 1707.
- (35) Cité par E. Bauer, op. cité note (17), p. 61.
J. Priestley, 1733 - 1804.
- (36) Cavendish (1731 - 1810) a publié en 1771 son seul Mémoire sur la question dans lequel il conjecture ladite loi. Sa vérification expérimentale n'a été publiée qu'en 1879 (voir E. Bauer, op. cité, p. 61-64).
- (37) C. Coulomb, 1736 - 1806.
- (38) C. Coulomb, « Deuxième Mémoire (1786), où l'on détermine suivant quelles lois le fluide magnétique ainsi que le fluide électrique agissent soit par répulsion soit par attraction », dans « *Collection de Mémoires relatifs à la physique* », publiés par la Société Française de Physique, t. I, les Mémoires de Coulomb, Gauthier-Villars, Paris, 1884, p. 146.
- (39) C. Gauss, 1777 - 1855 ; S. Poisson, 1781 - 1840 ; Green, 1793 - 1841.
- (40) A. Volta (1745 - 1827), lettre à Sir J. Banks président de la Royal Society de Londres ; publiée par R. Massain, « *Physique et Physiciens* », Magnard, Paris, 1966, p. 116.
- (41) L. Galvani (1737 - 1798), cité par C. Blondel, « L'électricité et le magnétisme au XIX^e siècle » dans « *Histoire de la Physique* », t. I, « *La formation de la physique classique* », à paraître aux éditions Technique et Documentation, Paris, 1987.
- (42) Voir C. Blondel, op. cité note (41).
- (43) Volta, cité par R. Massain, op. cité note (40), p. 114.
- (44) *Ibid.*, p. 114.

- (45) A. Becquerel, 1788 - 1878 ; R. Bunsen, 1811 - 1899 ; Leclanché, 1839 - 1882 ; G. Planté, 1834 - 1889.
- (46) A. Carlisle, 1768 - 1840 ; W. Nicholson, 1753 - 1815.
- (47) H. Davy, 1778 - 1829.
- (48) Voir E. Bauer dans R. Taton et coll., « *Histoire Générale des Sciences* », t. III, P.U.F., Paris, 1961, p. 206-207.
T. Grotthus, 1785 - 1822 ; J. Berzélius, 1779 - 1848 ; A. de la Rive, 1801 - 1873 ; M. Faraday, 1791 - 1867 ; R. Clausius, 1822 - 1888 ; S. Arrhénius, 1859 - 1927.
- (49) Voir C. Blondel, « *Ampère et la création de l'électrodynamique* », Bibliothèque Nationale, Paris, 1982.
A. M. Ampère, 1775 - 1836.
- (50) Voir E. Bauer, op. cité note (17), p. 86-87 ; G. S. Ohm, 1787 - 1854 ; G. Kirchhoff, 1824 - 1887 ; J. Fourier, 1768 - 1830.
- (51) Franklin avait, au siècle précédent, tenté en vain d'établir un tel lien - C. Ørsted, 1777 - 1851.
- (52) Ce que Ørsted nomme « *Appareil galvanique* » est la pile - voir J. C. Ørsted, « *Expériences relatives à l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée* », dans « *Collection de Mémoires relatifs à la physique publiés par la Société Française de Physique* », t. II, « *Mémoires sur l'électrodynamique* », 1^{re} partie, Paris, Gauthier-Villars, 1885, p. 1-6.
- (53) F. Arago, 1786 - 1853.
- (54) T. Seebeck, 1770 - 1831 ; P. Barlow, 1776 - 1862.
- (55) Voir E. Bauer, op. cité note (17), p. 92-97.
- (56) Voir R. Moïse et M. Daumas, « *l'électricité industrielle* », dans « *Histoire Générale des Techniques* », t. IV, P.U.F., Paris, 1978, p. 313-492.
Z. Gramme, 1826 - 1901 ; N. Tesla, 1856 - 1943.
W. Weber, 1804 - 1891 ; W. Thomson, 1824 - 1907 ; A. d'Arsonval, 1851 - 1940.
- (57) E. Bauer, op. cité note (17), p. 113.
J. C. Maxwell, 1831 - 1879.
- (58) Cité par J. Cazenobe dans « *La visée et l'obstacle. Etude et documents sur la préhistoire de l'onde hertzienne* », « *Cahiers d'histoire et de Philosophie des Sciences* », n° 5, 1983, p. 229-230.
H. Hertz, 1857 - 1894.
-