



*Boussole des sinus  
M. Pouillet 1831*

*Musée Ampère* ADX

1820  
Ampère  
découvre  
l'électromagnétisme

André Ducluzaux



*Ce ebook est un extrait du tome I du livre :*

**électricité–découvreurs-inventeurs.com**

## **Tomes**

### **I –Défricheurs de l'inconnu**

Au lecteur

- 1- L'électricité, essai de définition
- 2- Magnétisme et électricité statique. Des chinois à Coulomb
- 3- L'électricité dynamique, la pile- Galvani, Volta – 1800
- 4- Découverte de l'électromagnétisme - Oersted, Ampère –1820
- 5- Découverte de l'Induction – Arago, Faraday – 1831
- 6- Lois et théories

### **II – Générer l'électricité**

- 1- Générateurs électrochimiques, pile, accu, stockage
- 2- Générateurs statiques thermo/photo/piezo-électriques
- 3- Générateurs électromécaniques à induction
- 4- Bobine d'induction, Page, Ruhmkorff
- 5- Quelles énergies pour produire l'électricité – 1880-2011
- 6- Historique de la production d'électricité en France

### **III – Et la lumière fut – L'électrochimie**

- 1- Lampe à arc
- 2- Lampe à incandescence
- 3- Lampe à décharge
- 4- L'exposition internationale d'électricité à Paris - 1881
- 5- Développements et réseaux d'éclairage électrique
- 6- Electrochimie –Électrométallurgie

### **IV–Vecteur d'énergie**

- 1- Moteurs en courant continu
- 2- Transporter *la Force* - Guerre des courants, l'alternatif
- 3- L'alternatif, nouveau vecteur d'énergie, nouvelles machines
- 4- Centrales et réseaux de transport
- 5- Locomotion électrique par terre, mer, air.

### **V – Vecteur d'information**

- 1- Télégraphe
- 2- Téléphone
- 3- Découverte des ondes électromagnétiques – Maxwell – Hertz
- 4- Découverte de l'électron – J.J. Thomson – Tubes à vide – 1897
- 5- TSF – Radiophonie
- 6- Télévision
- 7- Découverte de l'effet transistor, semi-conducteurs –1948

## 4 - L'électromagnétisme

### L'électricité dynamique crée le magnétisme

#### Oersted et Ampère

Pour mieux comprendre cette deuxième découverte fondamentale de l'électricité, il est utile auparavant, de humer l'air du temps en 1820, vingt ans après la pile de Volta.

#### L'électricité de la pile, une autre électricité

Dès les premières années du XIX<sup>e</sup> siècle, les physiciens ont eu à faire de profonds efforts de réflexion et de pratique expérimentale, pour pénétrer dans un nouveau monde, celui de **l'électricité galvanique**, ou pour nous, **dynamique ou en mouvement**, que la pile faisait circuler dans un fil joignant ses deux pôles. Il avait certes quelques similitudes, mais surtout de fortes différences avec l'ancien monde de l'électricité (ordinaire), nom qui subsista jusqu'en 1820, devenu alors l'électrostatique. Ensuite l'électricité ne désigna plus que celle qui nous est familière, l'électricité dynamique, ou tout simplement l'électricité.

La pile qui possédait, selon Volta, une *force électromotrice* capable de faire circuler un courant permanent dans un circuit extérieur, n'avait rien de commun avec les grosses machines électrostatiques à manivelle. Un simple contact suffisait à faire jaillir une étincelle fugitive, dont on ignorait, bien sûr, que c'était un très bref courant à haute fréquence dans l'air ionisé, la foudre en miniature. L'électroscope à feuilles d'or n'avait plus d'utilité puisque cette force permanente, en principe, dépendait uniquement du nombre d'éléments de la pile, quelques volts incapables de faire dévier un électromètre ordinaire. Il y avait un circuit à établir avec un fil conjonctif, qui "joint", pour faire circuler l'électricité d'un pôle de la pile à l'autre, directement ou à travers un autre élément.

Surtout quelque chose transitait dans ce fil, le *conflit électrique*. Ce terme de conflit était moins vague que l'ancien terme de fluide, il résumait l'idée que circulaient dans le fil deux flux en sens contraire qui se croisaient, l'un, boréal, d'électricité positive sortant du pôle positif (zinc) pour rentrer au pôle négatif (cuivre), l'autre, austral, d'électricité négative allant du négatif au positif. C'était une adaptation dynamique du principe coulombien des deux électricités statiques. Quand il devint nécessaire de définir un sens unique et global à cet écoulement, on prit en compte celui du seul courant positif. Il est vrai qu'actuellement, on considère dans les électrolytes et les plasmas gazeux, que le courant est bien constitué de deux courants inverses, mais très inégaux, d'ions positifs et d'électrons négatifs.

On était encore très loin de supposer que ce fil pouvait véhiculer de l'énergie et non pas seulement des charges, notion d'ailleurs floue à l'époque.

Quant aux **phénomènes d'attractions et répulsions** entre positif et négatif, on ne savait plus entre quoi ils pourraient bien s'exercer, certains ont dû essayer d'approcher les pôles de deux piles, pour voir, sans résultat.

Un autre aspect avait un peu disparu des préoccupations, **le magnétisme** ; pourtant depuis Thalès, les scientifiques hésitaient à considérer les deux phénomènes magnétisme et électricité comme des apparences différentes d'un même principe. Leur propriété commune était ce pouvoir d'attraction à distance que Coulomb avait chiffré dans deux lois, comme proportionnel à l'inverse du carré de la distance. Coulomb avait nettement déclaré que cette ressemblance n'était en rien une identité. Ampère lui-même, écrivait en 1802, dans la présentation de son cours au lycée de Bourg : « Le professeur démontrera que :

« Les phénomènes électriques et magnétiques sont dus à deux fluides différents et qui agissent indépendamment l'un de l'autre ».

La découverte de la nouvelle électricité galvanique allait-elle modifier ce point de vue ? Il est certain que l'idée était dans l'air, il y avait probablement un rapport entre cette électricité et le magnétisme :

– On rapportait plusieurs cas d'action étrange de la foudre, provoquant la désaimantation ou même l'inversion des pôles d'une boussole marine ;

– Les aiguilles aimantées au voisinage de machines électrostatiques s'agitaient bizarrement au moment de la décharge ;

– Les deux pôles plus et moins de la pile ne seraient-ils pas analogues à ceux d'un aimant ?

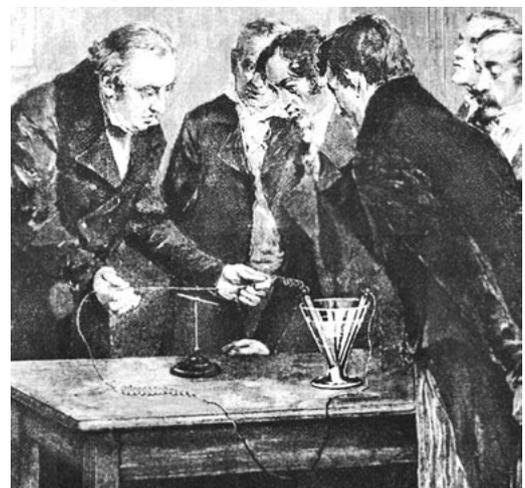
– Un physicien et romantique allemand, W. Ritter, connu pour des expériences ingénieuses sur le galvanisme, portait l'analogie jusqu'à l'identité, cela restait encore à prouver.

### Oersted, le conflit électrique fait dévier une aiguille aimantée

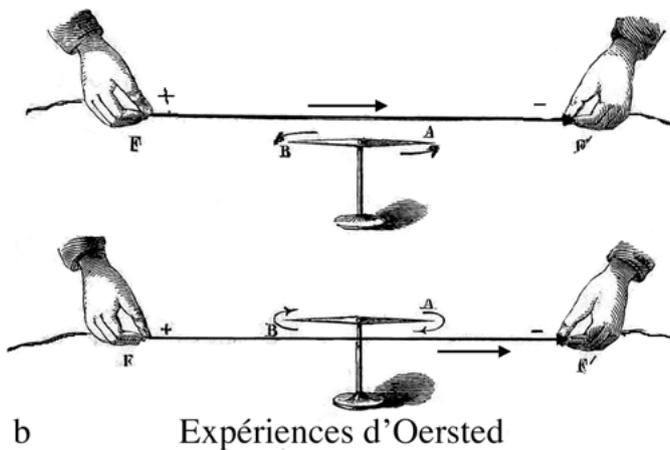
Ritter en avait parlé avec son ami, Jean Christian Oersted, professeur à l'université de Copenhague. Ce dernier avait publié en 1812 un *Aperçu des lois chimiques naturelles*, il y écrivait « Nous tâcherons pour prouver mieux encore l'universalité des deux forces chimique et électrique, de montrer qu'elles produisent aussi des phénomènes magnétiques. »

Ce n'est donc pas un hasard, comme on l'a souvent écrit, mais le résultat de nombreux essais, qu'il arrivât à la preuve dans l'hiver 1819. Aussi, il est peu probable qu'il constata cette déviation d'une aiguille aimantée pendant un cours d'électricité (a). Il attend cependant des mois, août 1820, pour envoyer la nouvelle à plusieurs académies, sous forme d'une note de quelques pages, en latin selon la tradition :

« Expériences relatives à l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée - Les premières expériences, sur le sujet qui fait l'objet de ce mémoire, remontent aux leçons que j'ai faites l'hiver dernier sur l'électricité, le galvanisme et le magnétisme. Leur conséquence principale est que l'aiguille aimantée est déviée de sa position par l'action de l'appareil voltaïque et que cet effet se produit quand le circuit est fermé et non lorsqu'il est ouvert ; c'est pour avoir laissé le circuit ouvert que de célèbres physiciens n'ont point réussi, il y a quelques années, dans des tentatives de ce genre. »



a Expérience d'Oersted



b Expériences d'Oersted

Cette allusion concerne sans doute Ritter qui a dû, comme d'autres, essayer logiquement d'approcher un aimant des pôles de la pile, alors que l'effet se produit à l'extérieur, par action sur le fil conjonctif qui joint les deux pôles.

Le mémoire décrit ensuite la pile utilisée, une pile à auges assez puissante, capable de débiter quelques ampères. L'aiguille aimantée se dirige normalement vers le Nord, ou plutôt suivant le méridien magnétique, et alignée avec le fil conjonctif s'il n'est pas branché à la pile. Quand le conflit, le courant, passe dans ce fil,

l'aiguille tend à se mettre presque en croix vers l'Est ou l'Ouest, suivant le sens du courant ou suivant que le fil passe dessus ou dessous l'aiguille (b) :

« La déviation est inversement proportionnelle à la distance du fil à l'aiguille et fonction de la puissance de l'appareil galvanique (la pile)... Il en résulte que l'effet observé ne peut être attribué à une attraction... les forces de ce conflit électrique sont circulaires... le conflit électrique n'est pas enfermé dans le conducteur lui-même, mais dispersé dans son environnement proche... » (1).

Oersted, troublé par cette force circulaire imagine une sorte de tourbillon qui entraînerait l'aiguille aimantée.

**Cette force présentait trois anomalies** par rapport aux forces à distance connues, les forces électrostatiques, et même la gravitation :

- Un effet provoqué par un fil parcouru par le conflit électrique et non plus des charges électriques statiques ;
- Une interaction entre des phénomènes magnétiques et électriques considérés comme bien distincts par Coulomb et ses prédécesseurs ;
- Une force ne s'exerçant pas comme les attractions newtoniennes, selon la droite qui relie les centres, mais circulaire autour du fil.

Il est probable qu'Oersted a cherché pendant six mois à trouver une explication à cette étrange force. N'y parvenant pas, il s'est décidé à publier son expérience telle quelle, sans explication, au cas où un autre ne le ferait avant lui, car il se doutait qu'il n'était pas le seul sur cette question.

La nouvelle eut bien un fort retentissement dans le petit monde des savants pour deux raisons : le sujet était dans l'air depuis des années, de plus il n'y avait pas eu de découverte électrique marquante depuis vingt ans, si ce n'étaient celles de nouveaux corps simples par l'électrochimie débutante. Peut-être aussi en raison des perturbations internationales provoquées par les guerres napoléoniennes.

La Royal Society décerna la médaille Copley de 1820 à Oersted, l'équivalent à l'époque d'un petit prix Nobel. Mais personne ne comprenait pourquoi l'aiguille aimantée déviait ; on se retrouvait devant une situation analogue à celle de 1786, quand Galvani découvrit un fait surprenant, l'agitation des cuisses de grenouille lors de la décharge d'une machine électrique proche. (I-3)

### L'antériorité

Comme nombre de découvertes ou inventions cette déviation de l'aiguille aimantée sous l'effet d'un courant voisin avait été constatée depuis des années, mais restée inconnue. Qu'importe, le second découvreur a autant de mérite que le premier... s'il l'ignorait.

**Domenico Romagnesi** avait publié à Trente, le 3 août 1802, un mémoire sur cette expérience. Le neveu de Galvani, Giovanni Aldini le signale dans son *Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme*, imprimé à Paris en 1804 : « M. Romagnesi, physicien de Trente, a reconnu que le galvanisme faisait décliner l'aiguille aimantée. Joseph Izarn, professeur de physique au lycée Bonaparte, le mentionne aussi dans son *Manuel du galvanisme* de 1805, déposé dans les bibliothèques des lycées de France. Mais aucun professeur n'y prêta attention.

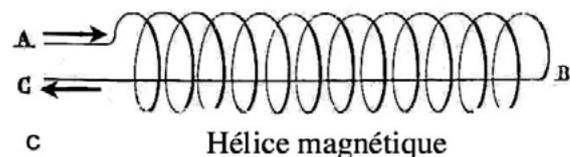
Oersted rencontra Aldini plusieurs fois lors de ses voyages à Paris (1802-1803-1813). Peut-être ce fait ne l'avait pas frappé à l'époque ; c'était alors la pile et ses effets électrochimiques qui intriguaient surtout les savants. Romagnesi avait seulement signalé ce fait étrange, sans chercher à l'expliquer. Oersted ira plus loin en l'analysant plus à fond, mais sans trouver d'explication lui non plus.

### Ampère fonde l'électromagnétisme en deux semaines (2)

François Arago expérimentait à Genève chez de La Rive, lorsque arriva la lettre d'Oersted. Avec de Saussure, Pictet et d'autres, il assista à la démonstration dans ce groupe scientifique informel des genevois qui a souvent fait avancer la science électrique. Dès son retour à Paris, il décrit l'expérience vue à Genève, au cours de la séance de l'Institut du 4 septembre 1820 ; il fut alors chargé de la reproduire le lundi suivant.

– **le 11 septembre** se déroule l'expérience. André Marie Ampère est présent. Professeur en analyse mathématique et mécanique à l'école Polytechnique, il ne s'était pas jusque-là intéressé à l'électricité, mais aux mathématiques, à la chimie et à la psychologie. Il saisit immédiatement l'importance des phénomènes dont il vient d'être témoin. Se déclenche dans son cerveau le déclic de l'intuition, qui va se traduire pendant quatre mois par un feu roulant de communications fortes et irréfutables, lors des séances de l'Académie. Il n'y avait pas encore de compte-rendu des séances (0), mais Ampère en a consigné quelques éléments dans ses notes :

– « Séance du **18 septembre** – Je réduisis les phénomènes observés par M. Oersted à deux faits généraux... je décrivis les instruments que je me proposais de faire construire et entre autres des **spires** et des **hélices galvaniques**.



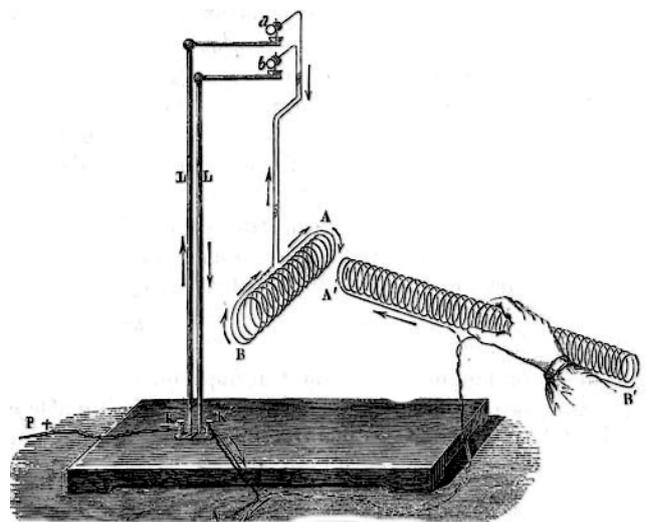
Hélice magnétique

J'annonçais que ces dernières produiraient dans tous les cas, les mêmes effets que les aimants (c). J'entrais ensuite dans quelques détails sur la manière dont je conçois les aimants, comme devant uniquement leurs propriétés à des courants électriques dans des plans perpendiculaires à leur axe et sur les courants semblables que j'admets dans le globe terrestre ; en sorte que **je réduisis tous les phénomènes magnétiques à des effets purement électriques...** »

Une semaine seulement pour présenter le principe de l'électromagnétisme.

– La séance du **25 septembre** reste mémorable par l'annonce d'un fait assez extraordinaire : « Je donnerais plus de développement à cette théorie, et **j'annonçais le fait nouveau de l'attraction et de la répulsion de deux courants électriques sans l'intermédiaire d'aucun aimant**, fait que j'avais observé sur des conducteurs pliés en spirale. Je répétais cette expérience dans le cours de la séance... » (d).

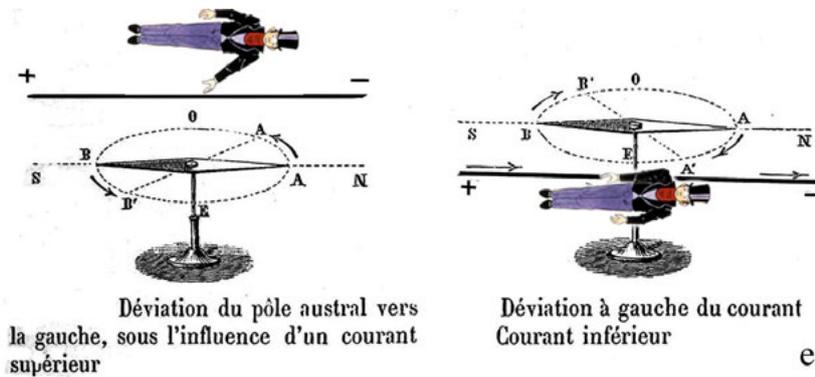
Si l'on approche d'une hélice stabilisée AB, une autre hélice A'B' on obtient des attractions ou répulsions comme avec des aimants.



d Hélices magnétiques

Ces phénomènes nécessitaient de raisonner dans l'espace à trois dimensions avec une analogie :

« ... d'après le fait général, que si l'on se place par la pensée dans la direction du courant, de manière qu'il soit dirigé des pieds à la tête de l'observateur, et que celui-ci ait la face tournée vers l'aiguille ; c'est constamment à sa gauche que l'action du courant écartera de sa position ordinaire celle de ses extrémités qui se dirige vers le Nord. C'est ce que j'exprimerais plus brièvement en disant que le pôle austral de l'aiguille (le Nord) est porté à gauche du courant qui agit sur l'aiguille. » (e)



Déviaton du pôle austral vers la gauche, sous l'influence d'un courant supérieur

Déviaton à gauche du courant Courant inférieur

C'était l'acte de naissance d'un personnage resté célèbre dans les lycées, le **Bonhomme d'Ampère**, (14) que l'on remplace souvent par la règle des trois doigts ou celle du tire-bouchon de Maxwell.

En quelques mots simples, clairs et précis, on peut même écrire dans un éclair de génie, il jetait les bases d'une nouvelle

science dénommée plus tard **électromagnétisme**, basé sur la corrélation des phénomènes électriques et magnétiques.

Simultanément il définissait son programme de travail pour démontrer expérimentalement toutes ces notions nouvelles, qu'il exposait d'emblée comme des certitudes. Toutes ses affirmations se vérifieront par l'expérience dans les semaines suivantes, sans aucune correction. Quelle prémonition et rapidité de jugement !

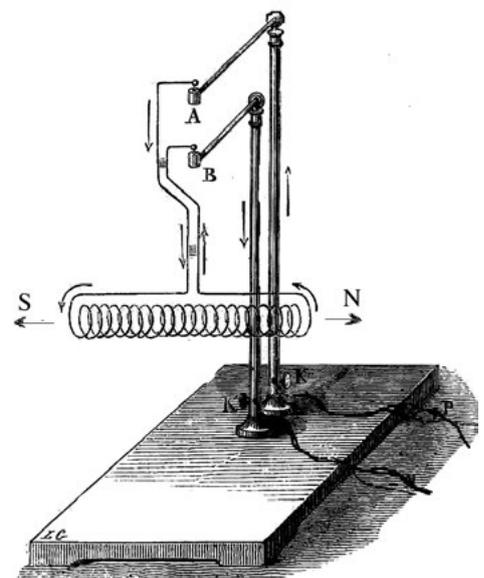
Il était déjà très au-delà de la seule interprétation de l'expérience d'Oersted, à l'aide du petit Bonhomme et la règle d'Ampère. Ampère consacrait toute son énergie et son temps à préciser et tester ses idées par des expériences, et présentait chaque semaine un nouveau mémoire à l'Académie.

– **Le 2 octobre**, il expose le résultat d'une expérience, suggérée par Laplace, sur la déviation d'une aiguille aimantée à grande distance par un courant, l'embryon d'un télégraphe électrique.

– **Le 30 octobre**, il suspendait à des potences une hélice magnétique trempant dans des coupelles de mercure permettant leur pivotement (h). Le courant circulant dans l'hélice va provoquer l'orientation de son "pôle" magnétique vers le nord, c'était une boussole électrique sans aimant.

À la même séance **Biot** présenta la loi donnant la force exercée sur un courant par un petit aimant, elle décroissait avec la distance, comme l'avait constaté Oersted. **Laplace** démontra que la force développée par un aimant sur un élément de courant était en raison inverse du carré de la distance.

– **Le 10 novembre**, son ami Arago apporta une contribution capitale à ce foisonnement d'idées nouvelles que suscitait la théorie d'Ampère. Il avait plongé dans la limaille de fer un fil parcouru par un courant. Si, conformément à la nouvelle théorie, il y avait identité entre le galvanisme et le magnétisme, la limaille devait être attiré comme par un aimant – elle le fut. Arago montra cette expérience à Ampère. Aussitôt celui-ci en tira comme conséquence que, si l'on plaçait une aiguille de fer dans un fil enroulé en spirale, on en ferait un aimant artificiel temporaire, tant que le courant parcourrait le fil (f).



h Hélice magnétique

L'**électro-aimant** était inventé, première application directe des découvertes d'Ampère (g).



f Procédé d'aimantation

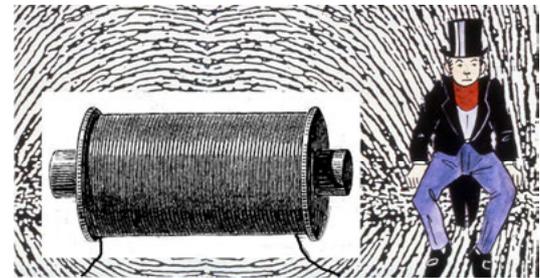
Arago lu son mémoire à l'Académie le 2 avril 1821 ; Notice sur l'aimantation imprimée aux métaux par l'électricité en mouvement. Il précise : « ...En répétant les expériences du physicien danois, j'ai reconnu que ce même courant développe fortement la vertu magnétique dans des lames de fer ou d'acier qui, d'abord, en étaient totalement privés... »

Diverses formes des noyaux en fer de l'électro-aimant, en fer à cheval, avec une palette mobile, seront ensuite perfectionnés par Sturgeon et Henry.

– **Le 4 décembre**, c'est le bouquet final, Ampère présente à l'Académie la formule générale de la force s'exerçant dans l'espace entre deux éléments de courants (j).

Elle définit toutes ces nouvelles actions électromagnétiques à distance, en particulier le fait de l'attraction mutuelle de deux courants de même sens et la répulsion de deux courants de sens contraire.

Cette première formule de l'électricité dynamique, constitue la première loi fondamentale de l'électromagnétisme.



g Electro-aimant simple

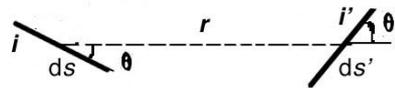
C'est dans le **Mémoire** que je lus à la séance du **4 décembre 1820**, que je communiquai à l'Académie la formule fondamentale de toute la théorie exposée dans ce **Mémoire**, formule qui donne la valeur de l'action mutuelle de deux fils conducteurs exprimée ainsi :

$$\frac{ii' ds ds' (\sin \theta \sin \theta' \cos \omega + k \cos \theta \cos \theta')}{r^2}$$

$k$  étant égal à  $-\frac{1}{2}$

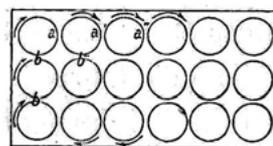
$\omega$  étant l'angle du plan de  $ds$  et  $r$  avec le plan de  $r$  et  $ds'$

j



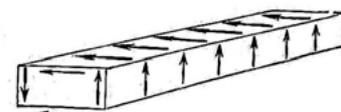
– Aux séances suivantes, jusqu'au **8 janvier 1821**, Ampère apportait des compléments, en particulier son hypothèse sur la constitution magnétique de l'aimant : une série de petits courants autour des *molécules*, existant avant l'aimantation du fer, du nickel ou du cobalt, mais dirigés en tous sens, ne pouvant donc avoir une action commune à l'extérieur. L'aimantation s'opère quand l'action magnétique d'un aimant ou d'un courant proche donne à tous ces courants désordonnés une direction commune (k).

On n'avait plus besoin de l'hypothèse d'un fluide magnétique, tout s'expliquait par la circulation de courants.



k Courants particuliers des aimants

Courants résultants à la surface d'un aimant



– **Le 2 avril 1821** il lit en séance publique à l'Académie une notice d'ensemble que complètera un mémoire récapitulatif, seulement le 8 avril 1822, en raison d'une maladie.

En 1824, il terminera la construction cohérente de toute sa théorie : *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience* ; le livre ne fut édité qu'en 1827, mais son contenu avait été en grande partie diffusé dans ses précédents mémoires (4).

Il débute par un long éloge de Newton dont il admirait essentiellement la méthode initiée déjà par Kepler :

« Observer d'abord les faits, en varier les circonstances autant qu'il est possible, accompagner ce premier travail de mesures précises pour en conclure les lois générales uniquement fondées sur l'expérience, et déduire des lois ainsi obtenues, indépendamment de toute hypothèse sur la nature des forces qui produisent les phénomènes, la valeur mathématique de ces forces, c'est-à-dire la formule qui les représente. »

Son titre n'est pas neutre, il précise nettement qu'il formule sa théorie en termes de quantitatif, non pas simplement de qualitatif ; ensuite qu'il élimine toute hypothèse ou spéculation intellectuelle pour ne prendre en compte que des faits expérimentaux reproductibles. L'ensemble est basé sur quatre expériences qu'il dénomme cas d'équilibre, destinées à déterminer les coefficients constants qui entrent dans la formule. Par exemple, il aurait pu adopter d'emblée que les efforts étaient inversement proportionnels au carré de la distance, comme dans les formules de Newton et Coulomb ; au contraire il considère au départ que c'est à une puissance  $n$  qu'il détermine expérimentalement pour trouver ensuite  $n = 2$ , soit le carré.

L'ouvrage est une minutieuse justification de sa théorie, complétée par la réfutation justifiée des nombreuses critiques et contradictions de ses opposants, principalement Biot, cité une dizaine de fois. Par contre, il mentionne l'apport positif de Faraday avec ses expériences de rotation de conducteurs. Le tout est écrit avec une clarté et précision assez rare pour des problèmes aussi complexes et nouveaux à l'époque.

– **Le 16 septembre 1822**, Ampère faisait une simple communication, « *la production des courants électriques par influence* », sur une expérience étrange qu'il ne chercha pas à expliquer : lorsqu'on approche un électroaimant en fer à cheval d'une lame de cuivre, celle-ci peut être attirée ou repoussée suivant la direction du courant. Il en conclut qu'un courant électrique excite de l'électricité dans les corps conducteurs près desquels il est dépassé.

À la même époque, il avait réalisé à Genève, avec de La Rive, une autre expérience où se manifestait par hasard un courant induit, qu'ils n'ont pas cherché à comprendre. Cela n'intrigua personne, même pas Arago qui révélait deux ans plus tard le magnétisme de rotation, phénomène d'induction très proche ; ni Faraday qui découvrait l'induction, cause du phénomène, seulement neuf ans plus tard. (I-5)

La découverte est vraiment une étrange déesse dont la beauté fugitive reste souvent invisible aux yeux des chercheurs préoccupés par d'autres soucis.

### Le processus intellectuel de la découverte

Il est généralement difficile de comprendre comment a fonctionné le cerveau du découvreur, intuition ou raisonnement logique ? Celui d'Ampère a été décrit par lui-même :

– seul un aimant peut attirer un autre aimant, donc le fil parcouru par le fluide électrique est un aimant. Affirmation de pure logique, mais étrange. Aucun rapport physique n'apparaît entre un aimant et un fil ;

– mais la force qu'il exerce n'est pas une interaction suivant une droite, elle est circulaire autour du fil ;

– alors si le fil est mis en boucle, en forme de spirale, elle doit se concentrer en son centre, prémonition osée que l'expérience confirme ;

– Il suffit alors d'ajouter l'effet de plusieurs spirales côte à côte formant une hélice, qui devient un additionneur, sorte d'amplificateur de force magnétique. Cela devient un aimant électrique dont l'axe

porte un pôle plus d'un coté, moins de l'autre, donc une bobine d'électroaimant, dénommée plus tard un solénoïde (7).

Aujourd'hui, on n'imagine guère d'appareil électrique sans bobines, ces milliards de solénoïdes d'Ampère, concentrateurs de magnétisme.

En comparaison avec d'autres découvertes, cette fondation de l'électromagnétisme par Ampère n'avait nécessité aucune intervention du hasard, si ce n'est peut-être la découverte d'Oersted elle-même, qui était dans l'air du temps. Ampère en effet n'a jamais pris en compte le hasard, pourtant à l'origine de multiples découvertes. Cette carence intellectuelle lui fera d'ailleurs manquer de peu celle de l'induction, le 16 septembre, et une seconde fois avec de la Rive. Un manque caractéristique de *sérendipité*, heureusement compensé par d'autres aptitudes.

Le plus stupéfiant fut la rapidité de la découverte et du calcul de cette force électromagnétique, moins de 3 mois, chaque fait ou concept était présenté dans sa forme définitive, sans nécessiter de compléments ultérieurs, sans considérations philosophiques sur les causes. Une étonnante intelligence précise, rapide, sans hésitations ; mais avec pourtant une carence notable, ne pas savoir interpréter le hasard fugitif, cet ange gardien du découvreur.

### Les contradicteurs

Comme il arrive souvent à l'apparition d'une nouvelle théorie surprenante, les savants se divisaient en trois groupes : les suiveurs enthousiastes, les contradicteurs de bonne foi ou simplement jaloux, et enfin ceux qui se rappelaient soudain avoir eut des idées analogues.

En France, se rallièrent immédiatement à cette approche totalement nouvelle : Arago, Fresnel, Fourier, Savary, plus tard Becquerel. Les opposants étaient les mathématiciens, Laplace et surtout Biot qui prônait, à l'inverse d'Ampère, que l'action du courant ne servait qu'à "imprimer une certaine aimantation" aux métaux qu'il traverse, ils étaient entourés de minuscules aimants. Il fit preuve longtemps d'une mauvaise foi, à la limite de la bêtise, dommage pour un bon mathématicien.

On trouvait aussi surprenant qu'en électrostatique, les corps chargés d'électricité de même signe se repoussaient, alors qu'Ampère montrait que les courants de même sens s'attiraient. (5) De même, dans les théories de Newton, les forces d'actions et réactions s'exercent suivant une ligne droite. Ampère démontrait alors que les rotations résultaient d'attractions et répulsions directes.

À l'étranger, les anglais étaient déconcertés, peu entraînés aux raisonnements à base de mathématiques. Berzélius ignore Ampère. Il a fallu convaincre difficilement Wollaston, Davy, Faraday, Prévot, Nobili à Bologne. Ampère répondait à leurs critiques par des lettres claires et détaillées ; Babbage, venu de Londres pour rencontrer Ampère, était reparti convaincu par les expériences et son discours précis et bien étayé. Il entraîna à son retour une meilleure compréhension de la nouvelle théorie par les anglais, considérés comme les références dans cette science électrique naissante.

### Apports théoriques

Ils dépassent très largement la simple explication de l'expérience d'Oersted avec le petit bonhomme au bras tendu :

**1 - Ampère affirme et démontre expérimentalement qu'un courant électrique se comporte dans son environnement comme un aimant.** Son apport majeur est l'explication de tous les phénomènes magnétiques par l'action externe des courants électriques. Le magnétisme seul n'existe pas, ce n'est que l'un des effets de l'électricité dans son environnement.

C'est l'acte fondateur de l'électromagnétisme, qu'il dénommera électrodynamique, concept totalement nouveau, que nombre de physiciens et mathématiciens approfondiront jusqu'à la première synthèse de Maxwell en 1864, suivi des Lorentz, Langevin, Einstein, Bohr, au début du XX<sup>e</sup>.

2 - Symétriquement, il explique l'effet d'un aimant comme la résultante de l'action magnétique d'une infinité de petits courants circulaires, tournant autour des *molécules* ; grains élémentaires de matière à l'époque. Invérifiable à l'époque, cette hypothèse guida les recherches de Weber, Maxwell et Ewing et ne fut confirmée qu'au XX<sup>e</sup> siècle.

De même pour la terre, un aimant d'après Gilbert en 1600, Ampère attribue son effet magnétique à de forts courants internes, générés par l'*effet dynamo*, explication proposée seulement en 1947 par Walter Elsasser.

Bien avant, en 1822, Leopoldo Nobili avait réalisé un globe terrestre complètement ceinturé d'un fil électrique (1), reproduisant le magnétisme terrestre, d'après Ampère, quand un courant y circulait. On le détectait avec une petite aiguille aimantée placée sur un support extérieur (disparu). Cette terrella du Museo galileo de Florence est plus connue sous le nom de Barlow globe, lequel la présenta à la Royal Institution en 1824.



1 Terrella de Nobili

3 - L'électromagnétisme d'Ampère reposait d'abord sur la force d'interaction de deux courants proches, dont il détermina la formule valable dans toutes les dispositions relatives de conducteurs dans les trois dimensions de l'espace. Il en résultait les cas particuliers de l'attraction de deux courants parallèles de même sens et la répulsion entre courants de sens contraires. Il était alors possible de provoquer un mouvement de rotation permanent de l'un des conducteurs à une vitesse limitée seulement par les frottements.

Dans sa note de candidature au Collège de France il précisait : « La marche qui m'a conduit à cette formule sera toujours un modèle de celle qu'on doit suivre pour arriver à de telles formules par l'expérience seulement et sans aucune supposition... »

Quarante ans plus tard, Maxwell écrira : « L'étude expérimentale par laquelle Ampère a établi les lois de l'action mécanique qui s'exerce entre les courants électriques constitue l'un des plus brillants exploits de la science. Il semble que cet ensemble de théorie et d'expérience ait jailli dans toute sa puissance, avec toutes ses armes, du cerveau du Newton de l'électricité. La forme en est parfaite, la rigueur inattaquable et le tout se résume en une formule, d'où peuvent se déduire tous les phénomènes et qui devra toujours rester la formule fondamentale de l'électrodynamique. »

**Formule de Laplace.** — Laplace, en appliquant le calcul à ces lois, a trouvé que l'action exercée par un élément de courant sur un pôle magnétique varie *en raison inverse du carré de la distance et proportionnellement au sinus de l'angle* que fait, avec la direction du courant, la ligne qui joint son centre au pôle magnétique. Cette force est appliquée à l'élément du courant, perpendiculairement au plan déterminé par l'élément et le pôle, et elle est dirigée conformément à la règle

d'Ampère. La loi élémentaire est exprimée par la formule dans laquelle *f* représente l'*action élémentaire*, *I* l'intensité du courant et *λ* sa longueur, *μ* la masse magnétique du pôle, *r* sa distance et *ω* l'angle de l'élément avec la ligne NO.

Physique A. Ganot 1868

Cette formule générale de la force d'Ampère n'est plus utilisée, peut-être en raison de son calcul un peu compliqué ; on lui préfère maintenant une autre formule, moins générale, simplifiée par Laplace (m), mais qui, à l'origine, faisait intervenir le moment ou masse magnétique d'un aimant.

Cette formule de Laplace fut simplifiée plus tard par Neumann, en remplaçant ce moment difficile à calculer, par le champ magnétique, soit le moment divisé par le carré de la distance *r*. Moins générale que celle

d'Ampère, elle suppose un champ magnétique uniforme, un conducteur rectiligne et donne la force totale appliquée au milieu du courant. Elle pourrait s'appeler formule d'Ampère-Laplace-Neumann (6).

4 - La mécanique nous apprend qu'une force appliquée à un corps le met en mouvement avec production d'énergie. **Le principe du moteur électrique**, attractions et répulsions entre conducteurs, était donc acquis. D'où les premières expériences de déplacement et rotations de conducteurs ou d'aimants. Tous les moteurs à venir fonctionneront avec les forces d'Ampère entre conducteurs et ce qui revient au même, depuis Ampère, entre conducteurs et champs d'électroaimants.

5 - Comme le fait remarquer Emile Bauer, Ampère est conduit à utiliser dans sa théorie apparemment newtonienne la notion de champ magnétique, du moins comme grandeur auxiliaire. Pour calculer avec sa formule l'action d'un circuit fermé sur un élément de courant, Ampère est obligé d'intégrer sa loi d'action à tout le circuit considéré. Ceci le conduit à introduire une grandeur nouvelle dont il se sert régulièrement : **la directrice des actions électro-dynamiques** au point occupé par l'élément, qui n'est pas autre chose, pour nous, que le champ magnétique du circuit parcouru par un courant d'intensité égale à l'unité.

C'est précisément un vecteur, dont les composantes sur les trois axes A, B, C (p. 157) sont toujours utilisées aujourd'hui, mais le calcul vectoriel ne naîtra que plus tard.

L'étape suivante sera l'abandon officiel par Faraday de l'action à distance de Newton, remplacée qualitativement par les lignes de force du champ, en attendant que Maxwell quantifie mathématiquement ce champ.

Mais déjà Ampère avait prévu qu'il faudrait imaginer un milieu déformable pour assurer la propagation des actions : « Je ne doute pas que les attractions et répulsions des courants électriques ne soient le résultat des mouvements du fluide qui remplit l'espace. » Faraday envisagera aussi cet **éther**, que Maxwell adoptera, mais avec des réserves sur sa nature.

6- En fondant les bases d'une nouvelle science électrique, Ampère, en mathématicien clair et précis, en a même défini le vocabulaire électrique qui nous est familier :

Le fil conjonctif devient un simple **conducteur**, qui conduit non pas le fluide ou conflit électrique, mais **le courant**. À la séance du 30 octobre, Ampère avait lu un mémoire qui contient plusieurs définitions et termes s'ajoutant à la force électromotrice de Volta : « **L'action électro-motrice** se manifeste par deux sortes d'effets que je crois devoir distinguer par une définition précise. J'appellerai **le premier tension électrique, le second courant électrique**. Le premier s'observe lorsque les deux corps entre lesquels cette action électromotrice a lieu sont séparés par des corps non-conducteurs, le second est celui où ils font, au contraire, partie d'un circuit de corps conducteurs qui les font communiquer... »

« Je sous-entend après les mots, **sens du courant électrique**, ceux-ci : de l'électricité positive... » Choix arbitraire (?) entre les deux électricités censées circuler en sens contraire.

Plus tard, il désignera cette *énergie du courant* par le terme **intensité**. Lorsque l'unité de mesure de l'intensité deviendra l'ampère, en 1881, l'appareil de mesure deviendra l'ampèremètre, le terme galvanomètre, proposé par Ampère sera conservé pour les appareils précis de laboratoire. (8) (9) (10)

Il est à remarquer qu'Ampère ne chercha pas à approfondir la nature même de l'électricité par des spéculations intellectuelles. Il lui suffisait de comprendre ses effets par des expériences, puis d'en définir les lois. Ce ne fut pas nécessaire au développement des multiples applications de l'électricité jusqu'à la fin du siècle. Nous exploitons bien les lois de la gravitation dans notre quotidien, comme pour lancer des satellites, sans connaître la nature de ce champ, ni son mode d'action. Peut-être le graviton ?

## Les expériences

À l'exception des hypothèses, invérifiables à l'époque, sur le magnétisme des aimants et celui de la terre, toutes les conséquences de la nouvelle théorie ont fait l'objet de vérifications expérimentales soignées. Elles ont contraint Ampère et ses contemporains à concevoir de curieux montages de fils mobiles, suspendus sur des cuvettes remplies de mercure destinées à assurer le passage du courant, sans perturber le mouvement du circuit. La reproduction de la planche I du livre (début du chapitre) en donne une idée, un travail de bricoleur ingénieux dont l'établi de travail était une simple table (n) dont l'original est présenté au Deutsches Muséum de Munich et une copie au Musée Ampère de Poleymieux.

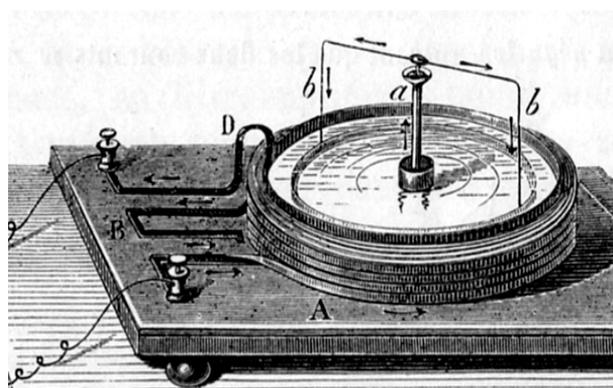
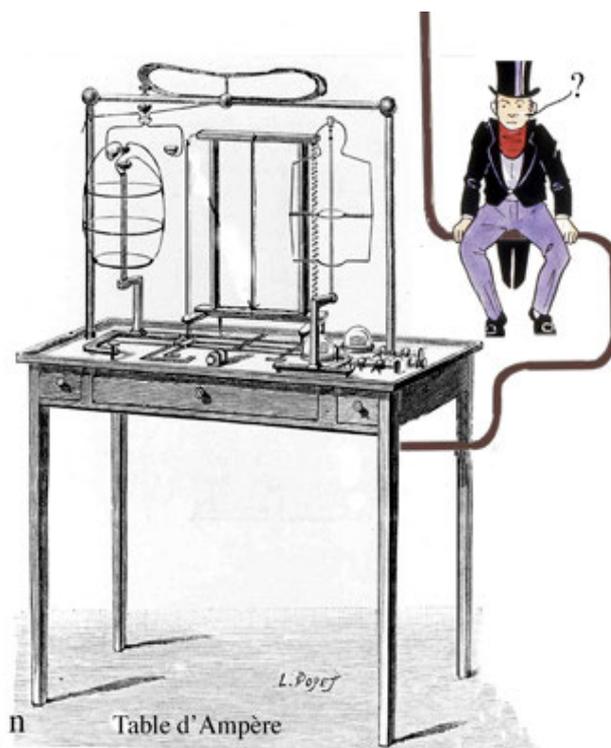
L'une des expériences de base était celle de l'hélice magnétique suspendue dans des coupelles de mercure A et B permettant son pivotement (h ci-dessus). Le courant qui la traversait provoquait son orientation vers le Nord ou le Sud suivant son sens; c'était une boussole électrique. Quelques physiciens se rendirent dans le modeste cabinet de la rue des Fossés Saint Victor, pour constater que des marins sans boussole pourraient se diriger avec de simples fils électriques ... s'ils avaient une pile ! La terre n'est donc pas un aimant, mais une énorme pile faisant circuler des courants dans sa matière. Si l'on approchait une autre hélice, (d ci-dessus) on obtenait des attractions ou répulsions comme avec des aimants.

Les actions électromagnétiques d'Ampère étaient des forces transversales provoquant naturellement des rotations, ainsi le montage (o) une bobine entourant une coupe de mercure permet de faire tourner un cadre de conducteurs.

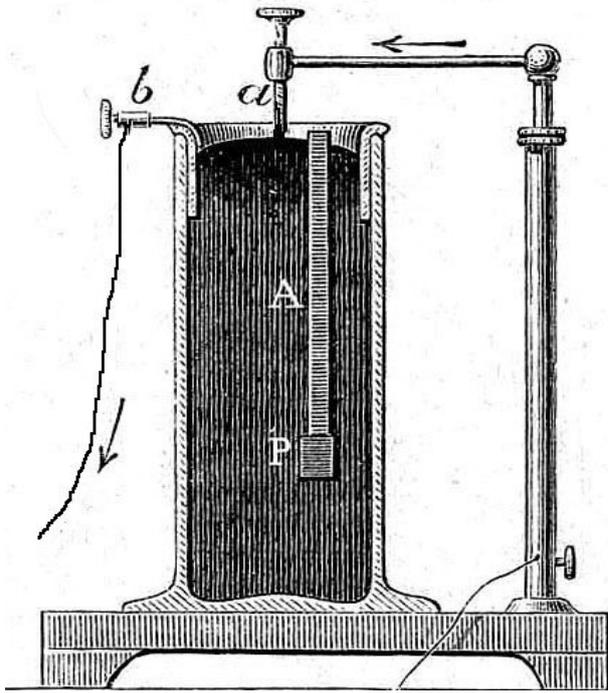
Ce fut l'occasion pour le jeune assistant de Davy, Michael Faraday, de débiter en novembre 1821 sur la scène électrique par diverses expériences. Wollaston lui avait suggéré la mise en rotation d'un cadre par un aimant central (p), lequel remplaçait la bobine de l'expérience précédente.

Il réussit également à faire tourner un aimant parallèlement autour d'un conducteur parcouru par un courant (q); mais n'arrivait pas à faire tourner réciproquement cet aimant sur son axe. Ampère lui indiqua le défaut du montage dans une correspondance (conservée au Musée) et il obtint cette rotation (r).

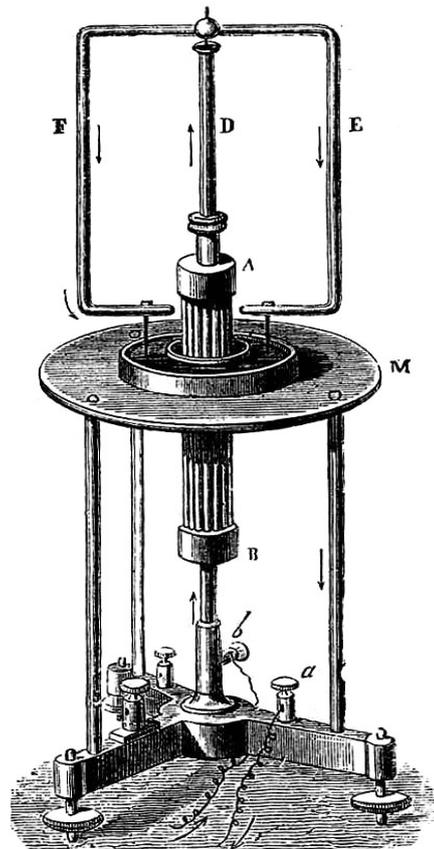
L'Anglais Roget imagina l'appareil (s) pour montrer l'attraction des spires d'un solénoïde. Le courant parcourt le solénoïde lorsque son extrémité trempe dans la cuvette de mercure, aussitôt les spires se rapprochent et le contact est coupé; les spires reviennent au repos et le contact rétablit le courant. Il en résulte une oscillation permanente du système comme un ressort qui est comprimé puis relâché indéfiniment.



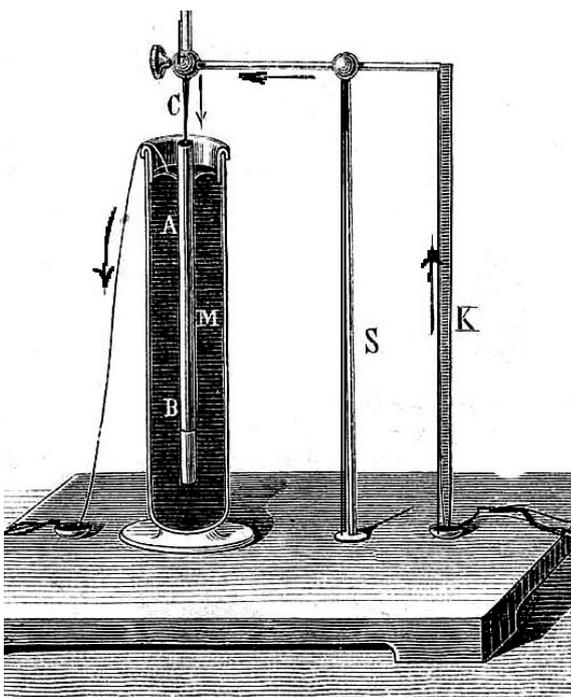
o rotation d'un cadre conducteur



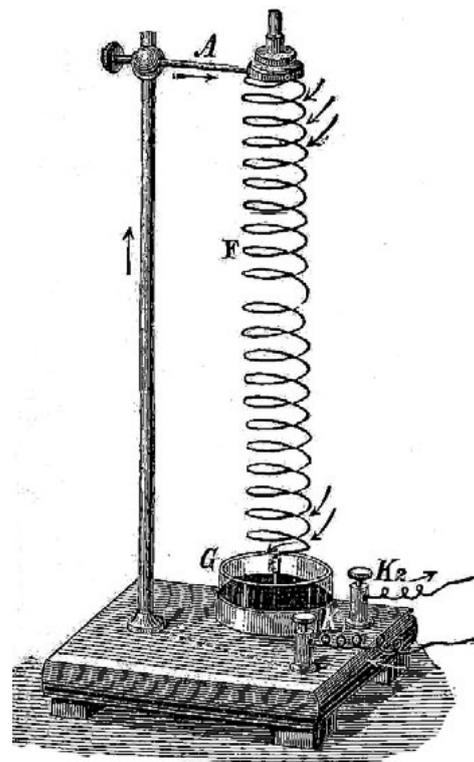
q rotation d'un aimant A sous l'action d'un courant



p rotation par aimant axial



r Rotation axiale d'un aimant



S Roget's Contact-breaker.

L'appareil le plus connu, illustrant les rotations électromagnétiques, est cette roue imaginée par Peter Barlow en 1822 (t). Les dents trempent dans le mercure contenu dans un creux du socle et relié à une borne B d'arrivée du courant depuis une pile. À la fermeture du circuit, la roue tourne sous l'effet du champ magnétique développé par l'aimant. Le sens de rotation change si l'on inverse celui du courant ou les pôles de l'aimant.

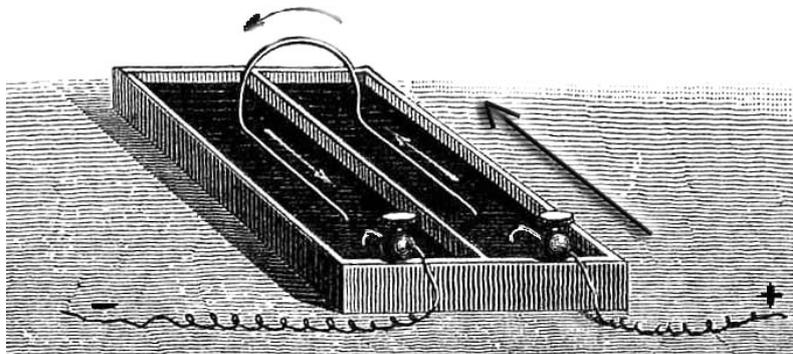
Même sans aimant la roue tourne, mais plus lentement, sous le seul effet des conducteurs d'amenée du courant sur le rayon de la roue trempant dans le mercure ; c'est d'ailleurs sous cette forme que Barlow l'a conçu primitivement (11); l'aimant a été ajouté ensuite par William Sturgeon.

L'appareil transformant l'énergie du courant en travail mécanique de rotation illustre le **principe d'un premier moteur rotatif utilisant la force d'Ampère**.



t Roue de Barlow

Dans son livre (p.28) Ampère explique comment sa formule (j) prévoit que deux éléments de courant d'un même conducteur rectiligne se repoussent mutuellement avec une force finie en  $i^2/r^2$ , les angles  $\theta, \theta'$  et  $\omega$  de la formule étant nuls dans ce cas. Pour vérifier l'existence de cette **force longitudinale de répulsion**, il avait conçu l'expérience fig.8 de sa planche I, reproduite en début de chapitre.



u Répulsion des parties consécutives d'un même courant

Dans ce montage (u), sur une cuve de mercure séparée par une cloison, flotte un conducteur en U dont chaque branche isolée par de la soie, sauf l'extrémité libre s'éloigne du fil fixe d'alimentation sous l'effet, d'après Ampère, de la répulsion mutuelle par cette force, des éléments de conducteurs en mercure.

On s'aperçut que, dans ce montage, le déplacement pouvait aussi s'expliquer par la force exercée sur le cavalier par les conducteurs parallèles. L'expérience ne démontre donc pas que la force longitudinale existe, puisqu'une autre s'y ajoute et Ampère ne s'en serait pas aperçu, ce qui est surprenant, compte tenu de la rigueur de ses raisonnements.

Mais la démonstration expérimentale qu'elle n'existe pas, reste encore aujourd'hui en suspens, car des faits assez troublants pourraient la justifier. Il s'agit apparemment d'une impasse technique et historique (12).

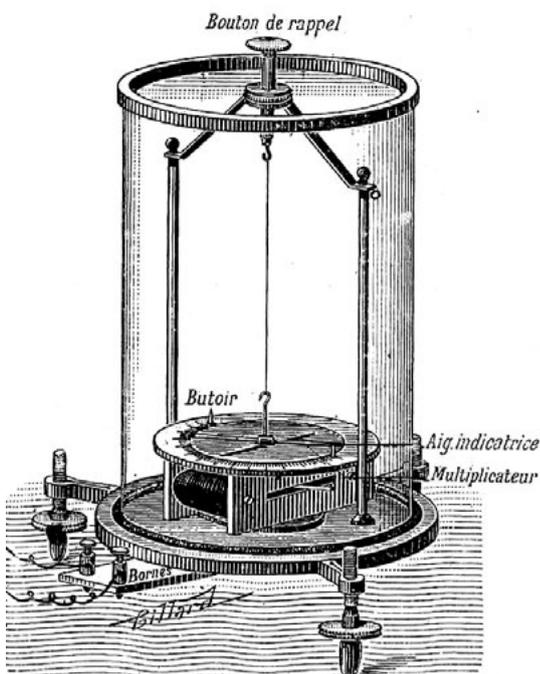
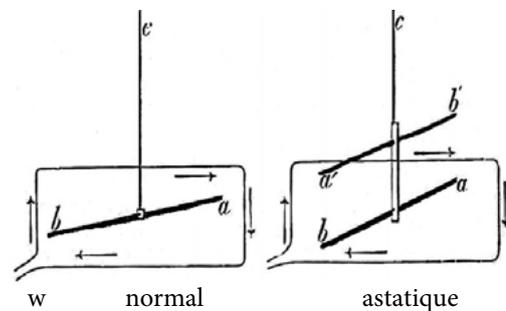
## Les applications

La plus remarquable fut celle de **l'électroaimant**, premier dispositif pour produire de l'énergie mécanique à partir de la circulation d'un courant, c'est-à-dire un moteur ou plus simplement un actionneur, capable d'effectuer une seule manœuvre à distance. Il deviendra l'élément de base des premiers moteurs, du télégraphe et de la télé mécanique et mille autres applications (v).

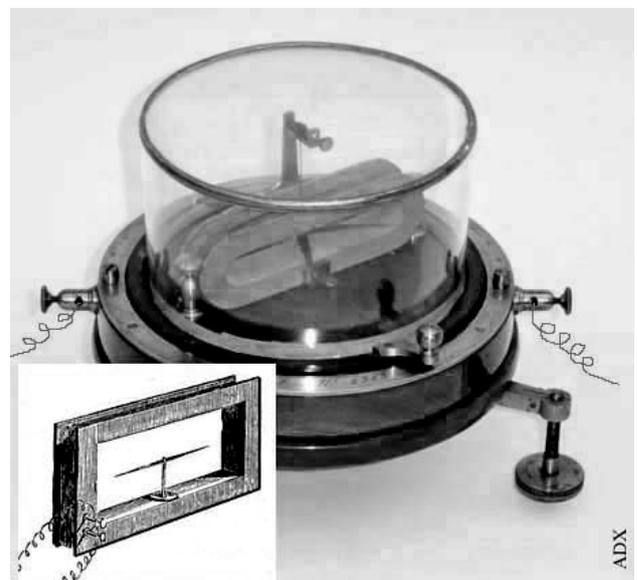
Le **galvanomètre** devint le premier appareil de mesure de l'intensité, cette nouvelle grandeur électrique, en utilisant la déviation d'une aiguille aimantée sous l'effet du courant passant dans une boucle de conducteur proche. Pour renforcer l'effet, l'aiguille suspendue à un fil de torsion, comme dans la balance de Coulomb, est placée au centre d'un cadre rectangulaire, mais Ampère avait remarqué que dans l'expérience d'Oersted, l'aiguille n'arrivait pas à se diriger totalement en croix avec le conducteur, en raison du champ terrestre. Il imagina alors de solidariser deux aiguilles aimantées identiques en sens inverse, d'en placer une à l'extérieur du cadre, l'autre à l'intérieur (w). Ce montage astatique rendait l'ensemble insensible au magnétisme terrestre (13).



v Electro-aimant



y galvanomètre de Nobili



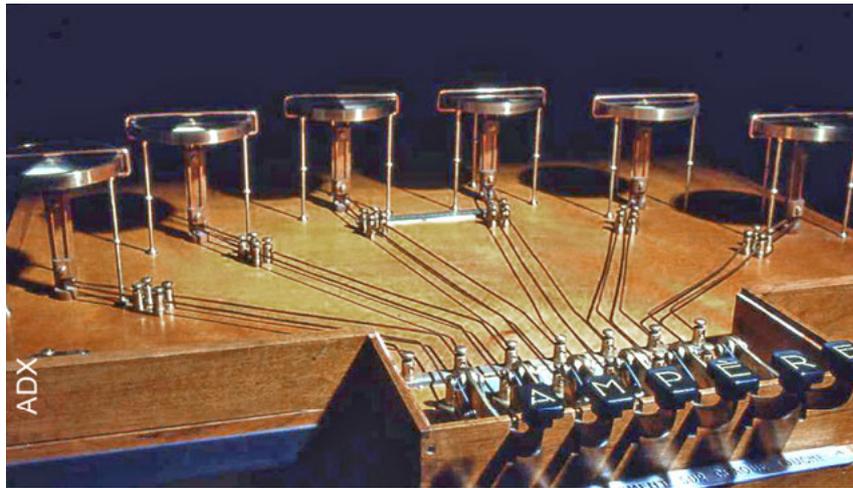
X multiplicateur de Schweigger - Bréguet

Un perfectionnement notable fut aussitôt apporté par Schweigger qui inventa le multiplicateur, c'est-à-dire un cadre sur lequel sont enroulées plusieurs spires au lieu d'une, amplifiant d'autant l'effet sur l'aiguille pour la mesure de faibles courants (x).

Nobili donna au galvanomètre, en 1825, sa forme pratique (y). L'appareil devint indispensable aux électriciens, en particulier pour la grande découverte qui allait suivre, l'induction par Faraday.

Ampère proposait aussi, dans son mémoire du 2 octobre 1820, une application dont le monde rêvait depuis des millénaires, la transmission de l'information à distance, grâce à l'électricité, le télégraphe. Mais le procédé était peu pratique et Ampère n'était pas intéressé par l'application de ses découvertes.

On fermait à la main un circuit électrique au bout duquel une aiguille aimantée déviait, mais il y faudrait autant de circuits que de lettres ou signes à transmettre. Sur la maquette construite par le musée (z), les 6 lettres du mot ampère nécessitent 12 fils, en fait 7 suffiraient. Schilling, puis Cooke et Wheatstone les réduisirent à 5 puis 3 dans le premier télégraphe opérationnel qui fonctionnera en 1836. (V-1)



Z

Télégraphe d'Ampère

## Epilogue

Durant ces quatre années consacrées à l'électricité, Ampère vivait encore dans des conditions matérielles difficiles avec des postes peu rémunérés de professeur à Polytechnique et inspecteur général de l'université. Il parvient après quelques péripéties à être élu professeur de Physique au Collège de France, rémunéré 5000 F, mieux que ses postes précédents qui ne l'intéressaient pas. Il retourna vers d'autres domaines de recherches et concluait :

« Les époques où l'on a ramené à un principe unique des phénomènes considérés auparavant comme dus à des causes différentes ont été presque toujours accompagnées de la découverte d'un très grand nombre de faits nouveaux, parce qu'une nouvelle manière de concevoir les causes suggère une multitude d'expériences à tenter, d'explications à vérifier. »

L'avenir proche ne lui donna que trop raison, le XX<sup>e</sup> siècle encore plus !

Après le complément essentiel qu'apportera Faraday avec l'induction, commenceront l'élaboration des multiples applications de l'électricité.

Ampère, comme Faraday plus tard et d'autres, cherchait ce Saint Graal des physiciens, l'unification des forces de l'univers et leur origine commune. A son époque, on recherchait en particulier à unifier la chaleur, l'électricité galvanique et la lumière (15).

Aussi, il a dû être particulièrement heureux, après juste deux semaines de réflexions et quelques expériences rapides, de proposer la première unification de deux phénomènes physiques, l'identité du magnétisme et de l'électricité, dénommée plus tard électromagnétisme.

Dans le même domaine électrique, Maxwell annoncera l'identité du champ électromagnétique et de la lumière, mais la vérification par Hertz attendra 20 ans.

Ensuite, avec Einstein, ce sera l'équivalence matière et énergie et les deux applications qui suivirent, la bombe et l'énergie nucléaire.

Aujourd'hui, ce serait le boson de Higgs, une satisfaction intellectuelle pour les savants, ou une vie meilleure pour une humanité en croissance numérique incontrôlée ?

## Compléments

**0** - La publication des **Comptes-rendus de l'Académie** des sciences de Paris ne fut instituée qu'en 1835 sous l'impulsion d'Arago. Précédemment, il n'y avait qu'un journal, l'Institut, qui ne donnait que les ordres du jour. Les carnets d'Ampère sont les seuls documents relatant ces séances. Une partie était consignée ensuite dans les Annales de physique.

**1** - La notion intuitive de **champ magnétique** « ... dans l'environnement proche ... » apparaît déjà dans le texte d'Oersted. Ampère, évitera de lui donner un autre nom que celui de directrice des efforts, car il apparaissait inévitablement dans ses calculs. Il était primordial de prouver à ses contradicteurs que les actions entre courants pouvaient s'exprimer comme des forces newtoniennes, suivant la droite joignant les centres des masses. Ce n'était vrai que si l'on considérait les éléments en interaction comme des infiniment petits. Il exploita ce subterfuge grâce à son aisance dans la formulation mathématique, avec ce calcul infinitésimal, imaginé par Newton puis codifié par Leibniz.

Même s'il avait l'intuition de ce champ, se manifestant dans l'espace environnant le conducteur, Ampère voulait rester dans le dogme consacré des forces newtoniennes pour ne pas bousculer encore plus ses contradicteurs, en particulier les mathématiciens Laplace et Biot.

**2** - Le terme d'**électromagnétisme** a été employé ci-dessus alors qu'Ampère n'en voulait pas, ayant démontré que tous les phénomènes magnétiques découlaient de la circulation de courants électriques. Il avait créé le terme d'**électrodynamique** pour exclure le magnétisme même du vocabulaire de son traité (p.97). Un peu l'équivalent de l'électrocinétique pour la circulation du courant dans les conducteurs.

Mais il faudra bien y revenir pour désigner les machines magnétoélectriques qui avaient un aimant permanent comme inducteur. Surtout quand Maxwell montrera la dualité des deux champs électriques et magnétiques, indissociables dans ces ondes électromagnétiques,

**3** - Le terme de **champ** (field) n'apparut que beaucoup plus tard, dans le Traité de Maxwell, mais il paraît plus clair de l'utiliser pour la description de l'ensemble des phénomènes découverts par Oersted et Ampère, conséquences pour nous, de l'existence du champ magnétique créé par un courant.

On peut définir le champ, comme la modification de l'espace environnant, provoquant une action spécifique sur une particule déterminée. Le premier champ découvert, mais pas encore défini comme tel à l'époque, était le champ de gravitation de Newton. On se contentait à l'époque d'évoquer seulement l'action à distance entre les masses qui en résultait.

La notion de champ électrique était déjà intuitive au temps de l'électrostatique pour expliquer le phénomène d'induction à distance.

Le champ magnétique fut de même implicite chez Ampère. Les lignes de forces de Faraday en furent une approche plus concrète, elles impliquaient la nécessité d'un milieu pour s'y développer, l'éther.

Ces champs sont liés à des phénomènes statiques, mais lorsqu'ils deviennent variables, suite à un mouvement, Maxwell a montré qu'ils deviennent interdépendants dans le champ électromagnétique. Question développée par Poincaré, de Broglie et autres.

**4** - Le **livre d'Ampère** avait été réédité en 1883 chez Hermann, réédité en 1958 à la Librairie scientifique Albert Blanchard, puis aux éditions Jacques Gabay en 1990. Il n'est pas totalement bâti sur l'expérience comme l'affirme le titre, puisqu'il repose sur le postulat newtonien de l'égalité de l'action et la réaction. De même la transmission instantanée de la force électrodynamique a été remise en question par la propagation du champ dans l'espace environnant.

Ce livre ainsi que les différents mémoires de 1820 à 1834 sont accessibles sur l'URL gallica.bnf.fr

**5- Une objection** embarrassait Ampère :

D'après ses contradicteurs : Deux corps qui, séparément, ont la propriété d'agir sur un troisième, ne sauraient manquer d'agir l'un sur l'autre. Les fils conjonctifs de la pile agissent sur l'aiguille

aimantée (Oersted), deux fils conjonctifs doivent alors s'influencer réciproquement (Ampère), donc les mouvements d'attraction ou répulsion qu'ils éprouvent sont des conséquences nécessaires de l'expérience d'Oersted. Ainsi on a tort de considérer les observations d'Ampère comme des faits primordiaux ouvrant des voies totalement nouvelles

Ampère répondait en défiant ses contradicteurs, Biot en particulier, de déduire des expériences d'Oersted le sens de l'action mutuelle de deux courants, lorsque Arago leur posa ce dilemme « Voici deux clefs en fer, chacune d'elle attire cette boussole, prouvez que ces clés proches s'attirent ou se repoussent, sinon le point de départ de toutes vos objections est faux ».

Dès ce moment, ajoute Arago, les objections furent abandonnées et les forces réciproques des courants prirent définitivement la place qui leur revenait parmi les plus grandes découvertes de la physique moderne. La conséquence première en était la possibilité d'obtenir un mouvement mécanique, le moteur électrique.

6 - Dans les traités de physique et manuels actuels la **formule de Laplace** est exprimée avec la notation vectorielle qui s'est généralisé après 1950 :  $\underline{F} = I \times \underline{B}$ . Plus récemment, on déduit cette force de Laplace de la force de Lorentz s'exerçant sur une charge  $q$  se déplaçant à la vitesse  $v$ . Il aurait été plus exact de dénommer cette formule d'Ampère – Neumann – Laplace – Lorentz, ou simplement par le nom de force d'Ampère, comme on le fait pour les 20 équations de Maxwell, transformées en 4 équations par son successeur Heaviside, regroupant les résultats d'Ampère, Gauss et Faraday.

7 - Le terme de **solénoïde**, créé plus tard, probablement par Ampère, vient du grec : solen signifie tuyau et oïdos, en forme de.

8 - Ampère dénommait aussi **galvanomètre**, l'appareil de mesure de l'intensité « L'électromètre ordinaire indique quand il y a tension et la force de cette tension ; il manquait un instrument qui fit connaître la présence du courant électrique dans un conducteur, qui en indiqua l'énergie et la direction. Cet instrument existe aujourd'hui... Il suffit de placer une aiguille aimantée, une boussole, sur le conducteur placé horizontalement dans la direction du méridien magnétique. Je pense que pour distinguer cet appareil de l'électromètre ordinaire, on doit lui donner le nom de galvanomètre. Cet appareil donne l'énergie du courant (l'intensité) par l'angle de déviation de l'aiguille et aussi sa direction... »

9- **L'ampère**, unité d'intensité du courant depuis 1881, a été adopté en 1960 comme unité de base de l'électromagnétisme, l'une des 7 unités fondamentales du système international d'unités (SI). L'ampère a été défini en 1948 comme l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à un mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à

$$2.10^{-7} \text{ newton par mètre de longueur.}$$

10 - Ampère fut l'un des assez rares physiciens dominant très bien les outils mathématiques pour les appliquer à la physique. Sans trop dépasser l'objectif de ce livre, il faut seulement évoquer des apports théoriques toujours utilisés en électrotechnique : le **théorème d'Ampère**, dans la forme que lui a donnée ensuite Lord Kelvin, que l'on démontre avec le concept de feuillet magnétique équivalent d'un courant fermé. Ce concept avait été initié par Ampère, mais sans lui donner ce nom.

11 - BARLOW PETER, *A curious electromagnete experiment, Philosoph. Magazine*, t. LXI, 1822.

12 - Cette **force longitudinale** ou axiale, déduite mathématiquement de la formule d'Ampère dans un cas particulier, serait une erreur ? Cette formule générale serait erronée, alors que celle de Laplace reposant sur plus d'hypothèses serait juste ? Étrange ! On comprend mal qu'Ampère se soit trompé, lui qui n'a commis aucune erreur dans ses expériences, démonstrations et calculs. Ce serait la seule.

Les physiciens de la fin du XIX<sup>e</sup> considéraient que cette force ne pouvait exister puisqu'elle n'apparaît pas en utilisant la formule de Laplace, basée sur le champ magnétique depuis l'interprétation de Neumann. Comme l'expérience d'Ampère ne permet pas de conclure sur son existence, la rigueur scientifique impose que l'on prouve expérimentalement son existence ou son absence. Vérification

toujours restée en attente, car rares seraient les chercheurs qui oseraient jouer ainsi les iconoclastes, en révélant une faille dans l'électromagnétisme d'après Ampère. Peut-être cette différence résulte-t-elle de ce que la formule d'Ampère est générale, celle de Laplace se limite à un champ magnétique uniforme et une force résultante de forces élémentaires. Son application élimine alors toute force longitudinale.

Précisément, en étudiant à une époque les efforts électrodynamiques dans les installations électriques et l'appareillage, j'avais procédé à des essais de forts courants (100 000 A eff, soit 240 000 A instantanés), traversant des contacts solides et constaté des forces élevées longitudinales de répulsions, inexplicables avec la loi de Laplace ou autres phénomènes thermiques.

De même, lorsque l'on examine dans un fusible moyenne tension, long de 20 cm, la trace de fusion du fil d'argent dans le sable qui l'entourait, figure une ligne en pointillé, parfaitement régulier, de petites boules d'argent séparées l'une de l'autre d'environ 1 ou 2 mm. Il semblerait qu'en chacun des points de fusion, il y ait eu répulsion du métal fondu des deux cotés. D'autres préoccupations plus urgentes de recherche appliquée ont interrompu ces investigations théoriques de recherche fondamentale.

Plus tard, un article de Science et Vie (HÉLÈNE GUILLEMOT, n° 879, 12/1990) « On avait oublié la force d'Ampère » signalait l'expérience de Peter Graneau, physicien de l'université de Boston, sur un *Water arc gun*, canon à arc lanceur d'eau d'une puissance extraordinaire, fonctionnant grâce à la force longitudinale. Graneau a publié *Newtonian electrodynamics* en 1996 à Infinite Energy. Deux physiciens, J.P. Viguier et Michel Rambaut avaient aussi publié dans *Physiques Lettres* deux articles appuyant théoriquement la force longitudinale d'Ampère.

Le mystère de cette force pourrait revenir à l'ordre du jour, si elle faisait apparaître des instabilités fâcheuses dans les plasmas des futurs réacteurs à fusion nucléaire.

La porte est entrouverte ; quel jeune chercheur doctorant aura la curiosité et l'audace de l'ouvrir ou de justifier théoriquement et expérimentalement sa fermeture définitive ?

Les médias aimeraient bien l'un ou l'autre titre : *Ampère fondateur de l'électromagnétisme s'était trompé, la force longitudinale n'existe pas — ou avait raison...* (contre Laplace).

**13** - Le montage astatique est souvent attribué à Nobili dans son mémoire : Sur un nouveau galvanomètre (Bibliothèque universelle, t. XXIX, 1825). Ampère l'avait décrit en 1821 dans les Annales de chimie et de Physique t. XVIII, p.320.

**14** - Le bonhomme d'Ampère, fiction de l'esprit, a un concurrent vivant, le poisson.

Le professeur Hermann de Königsberg a décrit dans un journal de physiologie (Pfüger's Archiv für Physiologie) un curieux phénomène qu'il a observé (Lumière électrique 1886/4 p.280) : Dans un vase rempli d'eau ordinaire et contenant des têtards, *Rana temporaria*, on fait passer au moyen de deux électrodes de zinc, un courant assez fort (20 éléments zinc-charbon), on voit, après un mouvement tumultueux des têtards, ceux-ci s'orienter dans le sens du courant, et plus curieux, ils se trouvent tous la tête tournée vers l'anode, donc à l'inverse du bonhomme d'Ampère. Il n'y a pas mouvement des têtards, mais simplement orientation. Décidément, les électriciens doivent beaucoup à la grenouille, celle de Galvani, puis les têtards d'Ampère.

D'où un intéressant sujet de thèse : Un vrai bonhomme nu fait la planche dans l'eau salée d'une mer calme ou celle d'un lac, traversée par le courant de piles. Comment son corps s'oriente-t-il ? Comme les têtards, ou par rapport au champ magnétique terrestre ?

L'essai devrait être fait ensuite avec une femme ; la surprise serait qu'elle s'oriente en sens inverse. Ce chercheur ajouterait dans les manuels son nom à ceux d'Oersted, Ampère et Hermann. La pêche électrique est maintenant pratiquée avec des impulsions de tension plus élevée, les poissons se dirigent vers l'anode, où on les capture dans un filet spécial.

Pour les lycéens, l'imaginaire Maxwell a remplacé le bonhomme d'Ampère par le tire-bouchon. Puis, J.A. Fleming, inventeur de la diode à vide, par la règle des trois doigts. (z2)

**15** – L'unification des théories, forces et particules expliquant le fonctionnement de l'Univers est toujours ce grand et lointain objectif des physiciens depuis des siècles. Aujourd'hui elles se résument aux quatre forces fondamentales, dont la force électrique, et à douze particules, dont l'électron.

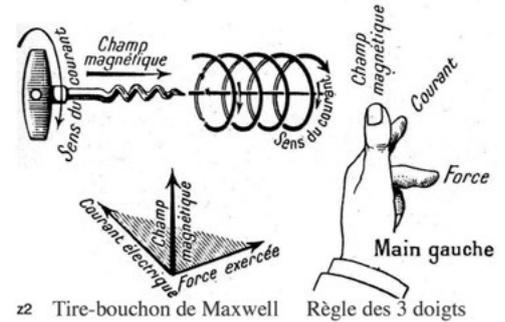
La quête du Graal se terminerait avec la découverte du boson de Higgs, hypothétique particule ultime générant toutes les autres, que le coûteux et puissant accélérateur du CERN à Genève, le LHC, va peut-être révéler...et mettre nombre de physiciens de la matière au chômage, s'il n'y a plus rien à chercher ! (Non, il y a toujours la gravitation inexplicée ). Il a été mis en service en 2010.

**16** - Un portail intéressant et fiable est entièrement consacré à Ampère, URL [ampere.cnrs.fr](http://ampere.cnrs.fr) - la plupart de ses publications y sont accessibles ainsi que sur [gallica.bnf.fr](http://gallica.bnf.fr)

**17** - Ampère, N° spécial de la Revue générale de l'Electricité, 11/1922. Nombreux documents et livres à la bibliothèque de la Maison Ampère – **Musée de l'Électricité à Poleymieux** (20 km, au Nord de Lyon). C'est sur l'intervention de Paul Janet, initiateur des premiers cours d'électricité à Grenoble, que la propriété où vécut Ampère fut acquise en 1928 par deux industriels américains, MM. Hernand et S. Behn, pour être généreusement donnée à la Société Française des Electriciens, devenue SEE, qui le gère avec la Société des Amis d'Ampère.

Le musée rassemble une intéressante collection de matériels électriques que ses moyens limités, privés, ne lui permettent pas encore de présenter avec une muséographie contemporaine. Ce qu'il compense par l'authenticité de son cadre campagnard chargé d'histoire et une intéressante bibliothèque. Les lycéens lyonnais viennent y compléter leurs cours avec une vingtaine d'expériences interactives sur l'électromagnétisme.

**18** - Une synthèse pratique pour le **calcul des efforts électrodynamiques** élevés dans les installations électriques, et donc destructeurs en cas de court-circuit : *Les efforts électrodynamiques* », ANDRÉ DUCLUZAU, cahiers techniques n° 7, 2/1976, (ou suivants), ed. Merlin Gerin (devenu Schneider Electric). Nota : J'avais adopté le terme d'efforts électrodynamiques, comme le voulait Ampère, plutôt qu'électromagnétiques suivant Maxwell et notre logique. Est-ce souhaitable ?



z2 Tire-bouchon de Maxwell Règle des 3 doigts

