



*Boussole des sinus
M. Pouillet 1831*

Musée Ampère ADX

1820 Bicentenaire

Ampère découvre l'Electromagnétisme

Applications

André Ducluzaux



1820 - L'ÉLECTRICITÉ progresse

Après deux siècles d'électrostatique, la découverte fondamentale :

1800 - Galvani, **Volta**, le ***courant continu*** par l'invention d'une pile, l'électro-dynamique, après l'électro-statique.

Entraine la découverte de 3 domaines d'applications :

1800 – Nicholson et Carlisle *électrolysent les composants de l'eau*, l'**électrochimie**.

1809 - H. Davy invente l'arc électrique, *l'électricité peut créer la lumière électrique*.

1820 – Oersted, **AMPÈRE**, *le courant électrique crée le magnétisme*.



yin

yang

L'**électromagnétisme**, *principe des générateurs et moteurs*

1831 - Arago, **Faraday**, *le magnétisme variable crée l'électricité*.

1832 - **AMPÈRE**, Pixii - invention du générateur/moteur magnéto-électrique

Avertissement

Cette brochure **Ampère 1-1820** est condensée (17p.)

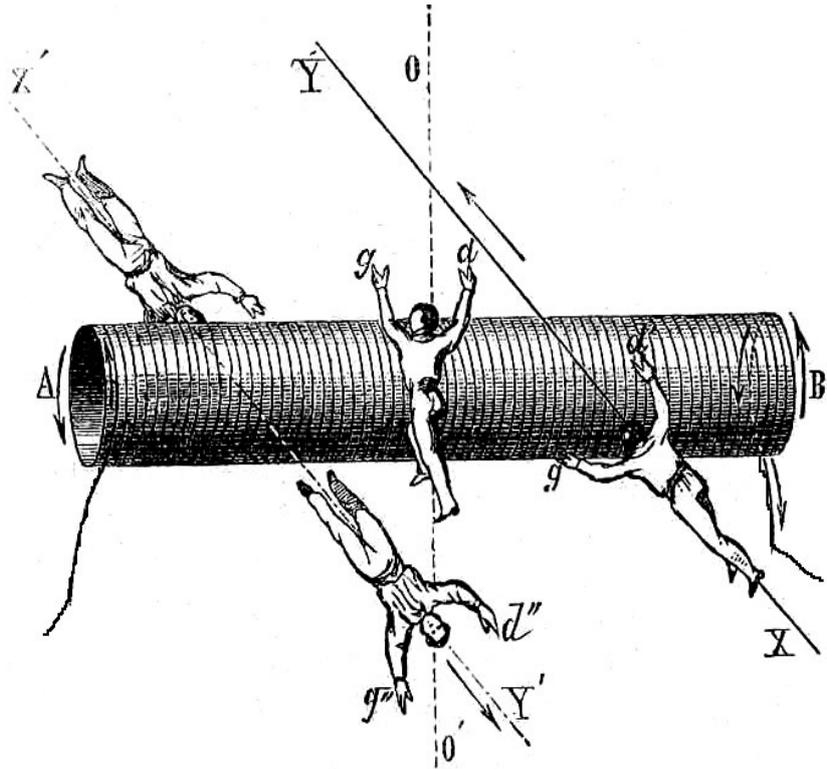
Le document complet (32 p.) **Ampère 2 extrait** est téléchargeable

sur le site des 5 tomes du livre, : electricite-decouvreur-inventeurs.com

Offre pour téléchargement de l'un des 5 tomes.

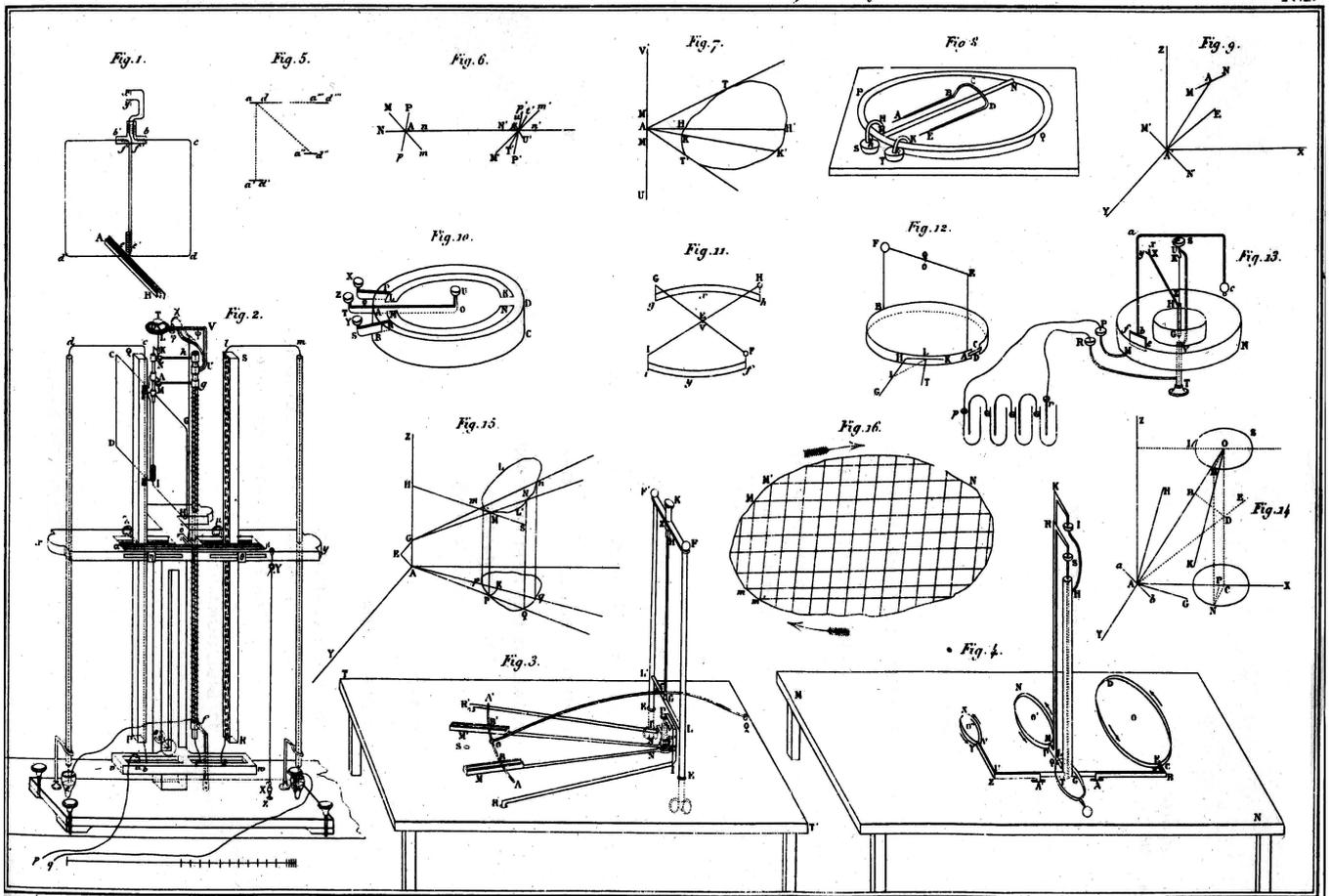


Le bonhomme cherche la force d'Ampère



Théorie des Phénomènes Electro-dynamiques.

P. 1.



Paris, Imp. Bachelier.

A.M. Ampère- Théorie mathématique des phénomènes electro-dynamiques...1927

1820

Ampère découvre l'Electromagnétisme

L'électricité crée le magnétisme

Invention du générateur magneto-électrique

Pour bien comprendre cette découverte, il est utile de humer auparavant *l'air du temps* en 1820, vingt ans après celle de Galvani-Volta.

L'électricité de la pile, une autre électricité

Dès les premières années du XIX^e siècle, les physiciens, familiarisé par plus d'un siècle d'**électrostatique**, ont eu à faire de profonds efforts de réflexion et de pratique expérimentale, pour pénétrer dans un nouveau monde, celui de *l'électricité galvanique*, en mouvement, ou **électro-dynamique**.

La pile qui selon Volta, était *l'électromoteur* recherché, capable de fournir en permanence à ses bornes des commotions électriques fugitives comme les machines électrostatiques, la bouteille de Leyde ou le poisson électrique torpille. Curieusement, un **fluide** mystérieux, non recherché, circulait dans un conducteur, seulement s'il était placé entre les deux bornes de la pile, mais en empêchant alors l'électromoteur de produire les commotions recherchées à ses bornes. L'électricité se manifestait ainsi sous 2 formes, l'une éliminant l'autre, **tension** ou **courant** comme les dénomma

On envisagea ensuite que le fluide dans un conducteur *conjonctif*, joignant les deux bornes, était un **conflit électrique**. Il résumait l'idée que circulaient 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. Similitude logique à l'époque avec la dualité des particules de l'électrostatique. Pour nous maintenant, c'était la découverte inimaginable de ce fluide, l'électricité dynamique, l'un des deux socles de notre civilisation moderne.

Les deux principaux phénomènes de l'électrostatique avaient imprégné les esprits pendant un siècle ; les **attractions et répulsions** très faibles entre corps électrisés et l'électrisation d'un corps par un autre par **influence**, mais ils ne nécessitaient pratiquement **aucune énergie**, des centaines de volts avec des milliampères. Avec la nouvelle électricité dynamique, Ampère reproduisit des attractions, mais très fortes, mais ne réussit pas avec l'influence. Ce fut Faraday avec l'induction.

Un autre phénomène avait un peu disparu des préoccupations, le **magnétisme** ; depuis Thalès, les scientifiques considéraient comme différents les deux phénomènes magnétisme et électricité, avec un point commun, l'attraction de particules. 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 ? L'idée était dans *l'air du temps*, 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 de la boussole marine ;

– Les aiguilles aimantées au voisinage de machines électrostatiques s'agitaient bizarrement au moment de leur 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 à prouver.

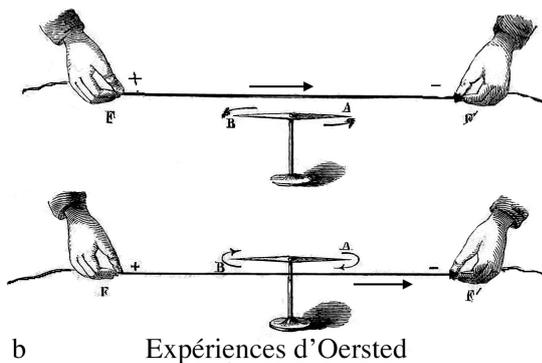
Oersted - le conflit électrique fait dévier une aiguille aimantée

Ritter en avait parlé avec son ami, Jean Christian Oersted, professeur à l'université de Copenhague.

Ce n'est donc pas un hasard, comme on l'a souvent supposé, mais le résultat d'essais qu'il arriva à la preuve dans l'hiver 1819. Il attend cependant des mois, août 1820, pour envoyer la nouvelle à plusieurs académies, sauf en France, sous forme d'une note de quelques pages, en latin, langue de communication :

« 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. »

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 du fil conjonctif qui joint les deux pôles.



a Expérience d'Oersted

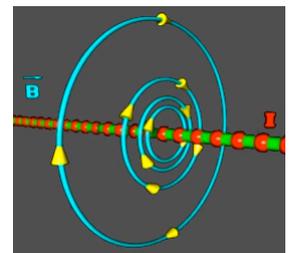
Le mémoire décrit ensuite la pile utilisée, une pile à auge assez puissante, capable de débiter peu ampères. L'aiguille aimantée se dirige normalement vers le Nord, ou plutôt suivant le méridien magnétique, et alignée avec le fil conjonctif s'il n'est pas branché à la pile. Quand le conflit, le courant, 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 simple 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, première intuition d'un champ, que fera progresser Faraday... puis Maxwell.

Cette force présentait trois anomalies par rapport aux forces à distance connues, la gravitation ou les très faibles forces électrostatiques :

- Un effet provoqué par un fil parcouru par le conflit électrique et non plus des charges électriques statiques, ou des masses ;
- 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, un tourbillon.



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 savait qu'il n'était pas le seul sur cette question.

La nouvelle eut 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, ainsi que la lumière électrique de l'arc. Sans doute, conséquences indirectes des 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.

Comme pour la plupart des découvertes, sauf celles *par hasard*, elles sont déclenchées par un *poseur de question*, ou bien *l'air du temps*. Oersted a donc joué ce rôle important pour le *découvreur* Ampère.

Cette déviation de l'aiguille aimantée sous l'effet d'un courant voisin avait été constatée depuis des années, mais restée inconnue. L'information circulait alors par la charrette du courrier à cheval. Qu'importe, le second découvreur a autant de mérite que le premier...s'il l'ignorait. C'était le cas, Domenico Romagnesi de Trente avait publié à Trente, le 3 août 1802, un mémoire sur cette expérience. De même J. Izarn, professeur de physique, le signale dans son manuel du galvanisme de 1805. Probablement, d'autres aussi.

Ampère découvre une face de l'électromagnétisme en deux semaines (2)

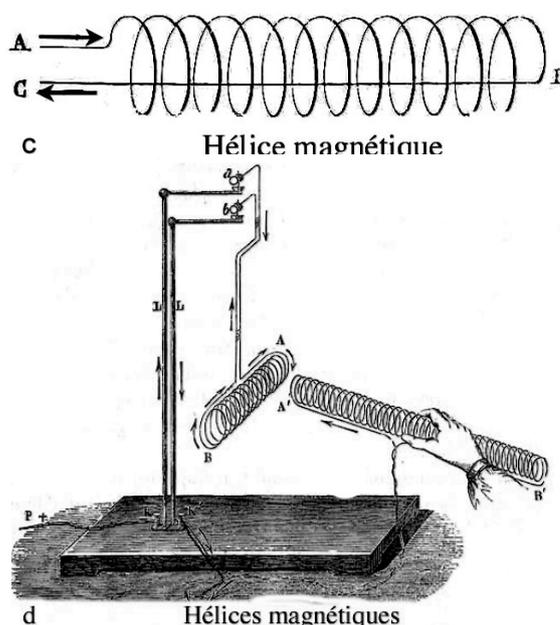
François Arago expérimentait à Genève chez de La Rive, lorsque arriva la lettre d'Oersted.

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**, à qui Oersted n'avait pas envoyé sa lettre - bizarre ! 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 alors dans son cerveau **une intuition rapide, invraisemblable**, qui va se traduire, aux séances de l'Académie pendant quatre mois, par un feu roulant de communications, irréfutables par des expériences. Il n'y avait pas encore de compte-rendu des séances (0), mais Ampère en a consigné les 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 **spiraux et des hélices galvaniques**. 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 l'une des faces de l'électromagnétisme : **le courant dans un conducteur agit comme un aimant ou l'électricité crée le magnétisme**

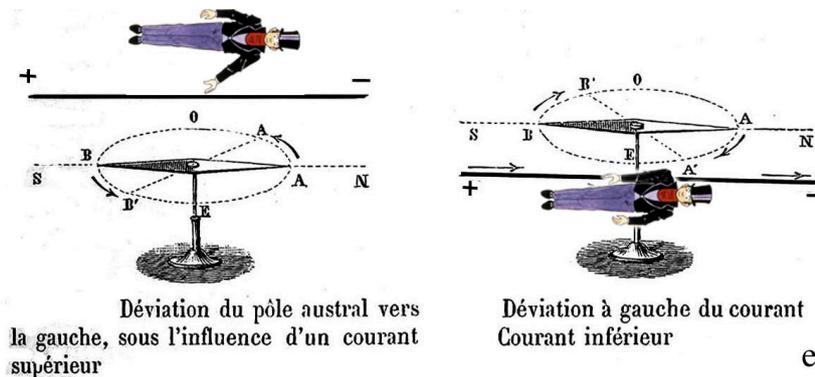
– La séance du **25 septembre** reste mémorable par l'annonce d'un fait assez extraordinaire :

« *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...* »

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).

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**, que l'on remplace souvent par la règle des trois doigts ou celle du tire-bouchon de Maxwell.(14)

En quelques mots simples, clairs et précis, il jetait le fondement d'un nouveau domaine scientifique, dont il créa le nom :

"*Le nom d'action électromagnétique, que je n'emploie ici que pour me conformer à l'usage, ne saurait plus convenir pour désigner cette sorte d'action. Je pense qu'elle doit l'être sous celui d'action électrodynamique. Ce nom exprime que les phénomènes d'attraction et de répulsion qui la caractérisent, sont produits par l'électricité en mouvement dans les conducteurs, et non par l'action des fluides électriques au repos de l'électrostatique.* » Confusion dépassée depuis plus d'un siècle !

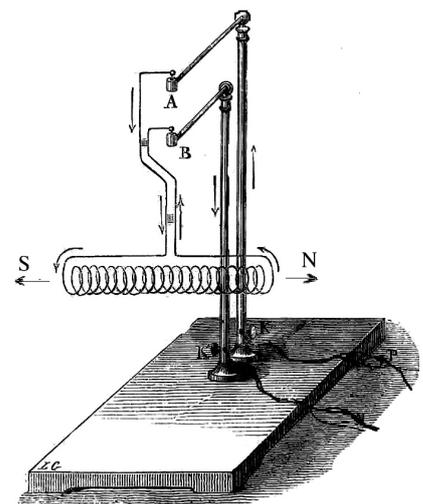
Simultanément il définissait son programme de travail pour démontrer expérimentalement toutes ces notions nouvelles, qu'il exposait d'emblée comme des certitudes. Toutes ses affirmations se vérifieront par l'expérience dans les semaines suivantes, sans aucune correction.

Quelle prémonition et rapidité d'un jugement exact !

Il était déjà très au-delà de la seule interprétation de l'expérience d'Oersted, à l'aide du petit Bonhomme et sa règle. 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, le **principe 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).



h Hélice magnétique

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 son collègue mathématicien **Biot** présenta avec Savart la loi donnant la force exercée sur un courant par un petit aimant, elle décroissait avec la distance, comme l'avait constaté Oersted.

Un autre collègue, **Laplace**, démontra ensuite 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 et 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).

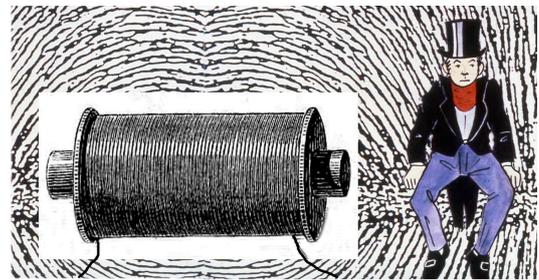
L'électro-aimant était inventé par Arago, suggestion d'Ampère et application de sa découverte (g).



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



g Electro-aimant simple

– **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.

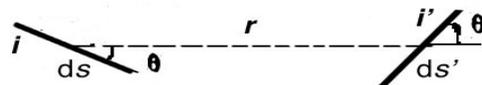
C'est dans le **Mémoire** que je lus à la séance du **4 décembre 1820**, que je communiquai à l'Académie la **formule fondamentale de toute la théorie exposée dans ce Mémoire, formule qui donne la valeur de l'action mutuelle de deux fils conducteurs exprimée ainsi :**

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

k étant égal à $-\frac{1}{2}$

ω étant l'angle du plan de ds et r avec le plan de r et ds'

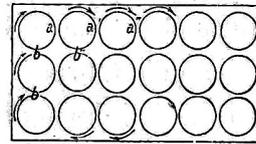
j



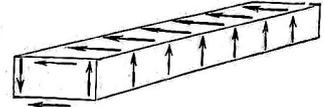
Aux séances suivantes, jusqu'au **8 janvier 1821**, Ampère apportait des compléments, en particulier son hypothèse sur la **constitution magnétique de l'aimant**, une série de petits courants autour des *molécules*, existant avant l'aimantation du fer, nickel ou cobalt, mais dirigés en tous sens, ne 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). Il faudra attendre plus d'un siècle pour le prouver.

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



Courants résultants à la surface d'un aimant



Le **2 avril 1821** il lit en séance k Courants particuliers des aimants

publique à l'Académie une **notice d'ensemble** que complétera un mémoire récapitulatif, seulement le 8 avril 1822, en raison d'une maladie chronique

En 1824, il terminera la construction cohérente de toute sa théorie : ***Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience*** ; éditée qu'en 1827, suite à des maladies, mais son contenu avait été déjà diffusé dans des dizaines de mémoires en 1824.

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, vraiment simple, a été décrit par lui-même :

– **seul un aimant peut attirer un autre aimant, donc le fil parcouru par le fluide électrique est aussi un aimant.** Affirmation osée, aucun rapport physique n'apparaissait entre un aimant en fer et un fil de cuivre parcouru par un courant .

– 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 spirale, elle doit se concentrer en son centre. Prémonition confirmée par l'expérience.

– Il suffit alors d'ajouter l'effet de plusieurs spirales cote à cote, 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 côté, 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 pour les générateurs et actionneurs de toute télécommande.

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. Pourtant, le hasard cet ange gardien du découvreur est à l'origine de nombreuses découvertes dont la pile. Mais encore faut-il l'interpréter. Comme d'autres, Ampère manquera celle de l'induction, le 16 septembre, puis une seconde fois par une expérience sans résultat, et une troisième fois avec de la Rive, à moitié réussie.

Le plus stupéfiant fut la rapidité de la découverte et du calcul de cette force électromagnétique, En moins de trois 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,

Apports théoriques

Ils dépassent la simple explication de l'expérience 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 d'un courant. **Le magnétisme seul n'existe pas,**

ce n'est que l'un des effets de l'électricité dans son environnement. Cette fondation de **l'électromagnétisme**, sera suivi 10 ans plus tard par son complément, l'induction de Faraday.

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 la matière à l'époque. Invérifiable, cette hypothèse guida les recherches de Weber, Maxwell et Ewing et ne fut confirmée que fin du XX^e siècle par Louis Néel. 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

3 - La mécanique nous apprend qu'une force appliquée à un corps le met en mouvement avec production d'énergie. **La possibilité d'un moteur**, attractions et répulsions entre conducteurs, se vérifiait par des expériences de déplacement et rotations de conducteurs ou d'aimants. L'électro-aimant devint un moteur, plutôt simple actionneur, pour une infinité d'applications.

Plus tard, des premiers moteurs à électroaimants furent une piste sans issue. Aucun moteur conçu avec la seule force d'Ampère ne fonctionna bien. Ensuite, ils ont été tous conçus conjointement avec les deux faces de l'électromagnétisme, l'induit avec l'induction de Faraday, l'inducteur au début un aimant, remplacé par un électro-aimants d'Ampère, plus puissant.

Le générateur conçu par Ampère avec Pixii en 1832 ouvrait alors une piste féconde. Cette complémentarité des deux faces de l'électromagnétisme se révéla aussi par la **réversibilité** : lorsque l'on découvrit que les moteurs imaginés par les uns pouvaient être aussi des générateurs, de même les générateurs pouvaient fonctionner en moteurs.

4- 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 l'électromoteur 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** (au lieu de commotion), **le second courant électrique** (au lieu de fluide ou conflit). 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...* » Il faudra attendre Pouillet, puis Ohm pour associer ces deux effets tension et courant dans la même loi.

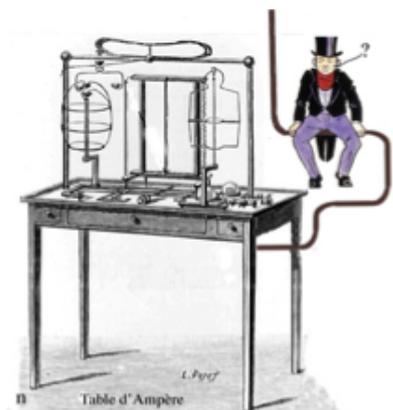
« *Je sous-entend après les mots, **sens du courant électrique**, ceux-ci : de l'électricité positive...* » Choix arbitraire entre les deux fluides censés circuler en sens contraire. L'autre, négatif ??

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.

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 obligé 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 d'Ampère (début) en donne une idée, un travail de bricoleur ingénieux.



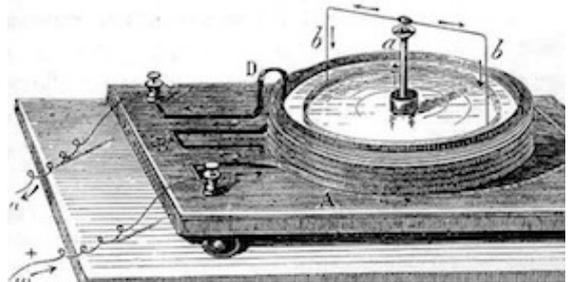
Son établi de travail était **une simple table** dont l'original est présenté au Deutsches Muséum de Munich et une copie au Musée Ampère de Poleymieux.

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.

Plusieurs 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 ci-contre, 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, pour 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, lequel remplaçait la bobine de l'expérience précédente.

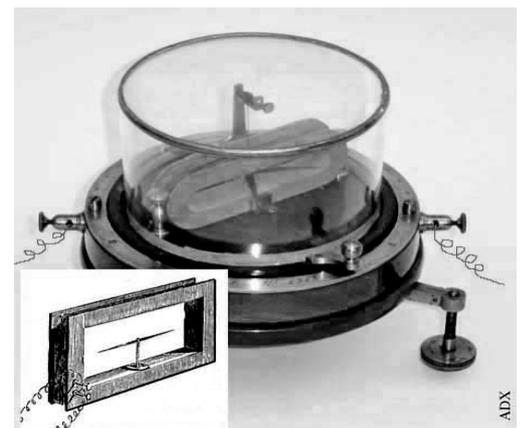
Il réussit également à faire tourner un aimant parallèlement autour d'un conducteur parcouru par un courant, mais n'arrivait pas à faire tourner réciproquement cet aimant sur son axe. Ampère lui indiqua le défaut du montage dans une correspondance et il obtint cette rotation

Les inventions

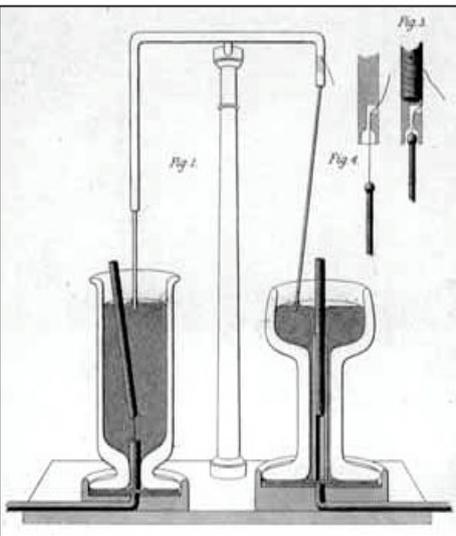
Ampère, découvreur, ne travaillait que pour la satisfaction d'accroître les connaissances du monde. Il ne cherchait nullement à donner son nom à une invention découlant de ses recherches, mais **en donnait même l'idée** à son entourage qui la réalisait. Ainsi pour Arago, Schweigger, Pixii.

L'**électroaimant d'Arago** fut le premier dispositif pour produire de l'énergie mécanique par de la circulation d'un courant, c'est un bref **actionneur**, effectuant une seule manœuvre énergétique à distance, marche ou arrêt. Sturgeon et Henry l'amélioreront en lui donnant la forme du fer à cheval. Il deviendra l'élément de base des premiers moteurs, du télégraphe puis des milliards de relais de toute télé mécanique, telle la télécommande d'information actuelle.

Le **galvanomètre** devint le premier appareil indispensable pour la simple détection d'un courant et la mesure de son intensité, nouvelle grandeur électrique. Ce fut d'abord **Schweigger** qui inventa le multiplicateur, 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).

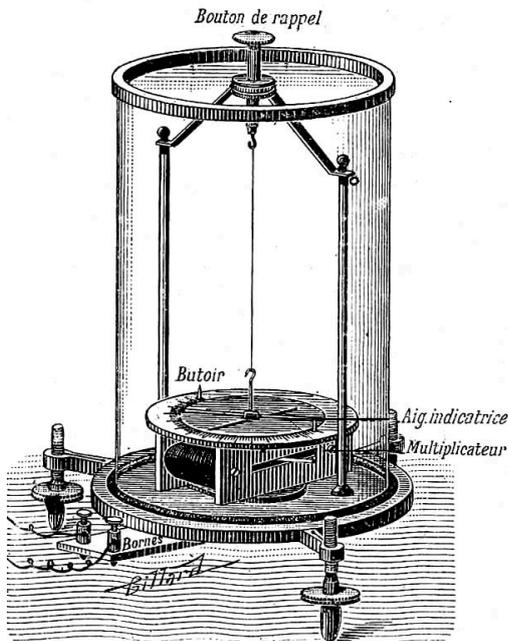


X multiplicateur de Schweigger - Bréguet



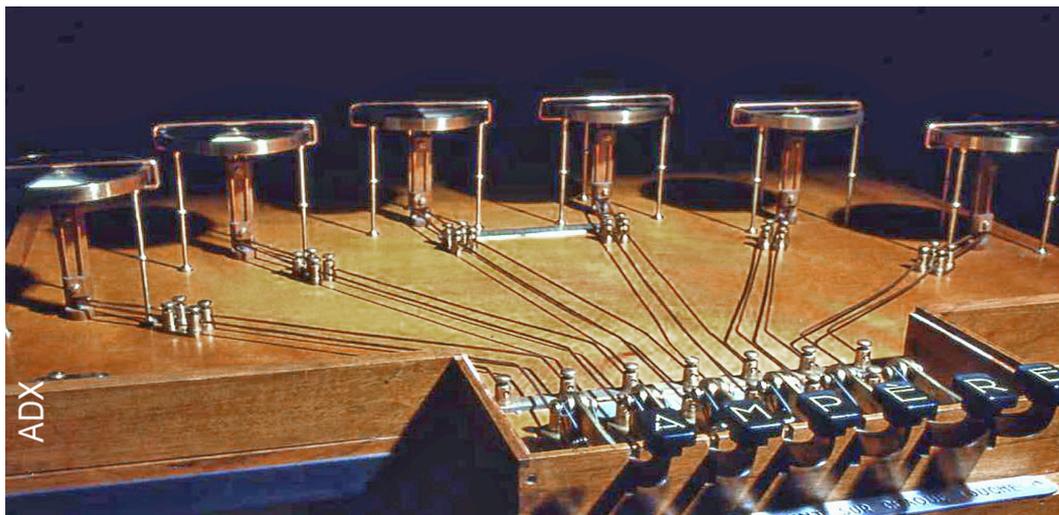
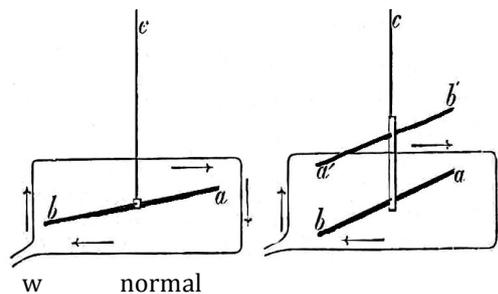
The first electric motors - Michael Faraday, 1821
From the Quarterly Journal of Science, Vol XII, 1821

Nobili donna au galvanomètre, en 1825, sa forme pratique (y). L'appareil devint indispensable, en particulier pour la grande découverte qui allait suivre, l'induction par Faraday, en utilisant la déviation d'une aiguille aimantée sous l'effet du courant passant dans une boucle de conducteur proche.



y galvanomètre de Nobili

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).



z Télégraphe d'Ampère

Le télégraphe

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**. 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.

Le procédé était apparemment peu pratique, car il faudrait théoriquement 26+10+1 soit 37 fils. Sur la maquette construite par le musée (z), les 6 lettres du mot *ampère* nécessitaient 12 fils, en fait 7 suffisaient.

Ampère n'était **pas intéressé par la ou les inventions** qui suivent toute découverte. Il donnait le principe à d'autres, qui développaient l'invention, **sauf** :

Le premier générateur magnéto-électrique Ampère-Pixii - 1832

Après la découverte par Faraday de l'induction, publiée par la Royal Academy en 02/1832, la **synthèse des deux faces de l'électromagnétisme** devenait possible, une base du **générateur** pour remplacer les piles qui se révéla ensuite **réversible en moteur**. Ampère qui avait quitté l'électricité en 1827 pour la *mathésiologie*, y revint très brièvement début 1832, regrettant de ne avoir pas aperçu trois fois qu'un bref courant par *influence*. Ceci malgré ses charges d'enseignement, tournées d'inspections en régions et sa maladie pulmonaire chronique, en homme de forte volonté.

Après avoir été un découvreur étonnant, il prit donc brièvement la fonction d'inventeur qu'il laissait avant à d'autres, avec l'aide de Pixii, son constructeur d'appareils de laboratoire.

Retraçons **les étapes de la conception** de ce premier générateur d'électricité en courant alternatif puis continu, d'une importance historique et technique décisive (T.II)

1) Il fit d'abord réaliser par Pixii, un appareil basé sur le principe de l'induction et capable de produire un courant à partir de énergie mécanique manuelle.

Sa description a été retrouvée par Uri Zelbstein dans le livre de Sartiaux (Bnf) sur les 232 appareils et livres d'électricité présentés à l'exposition de 1900 à Paris.

Mais l'appareil ne donnait sans doute pas satisfaction.

2) Pixii réalisa alors une autre idée plus simple d'Ampère, la maquette dont le croquis (b) est du à l'américain Saxton qui l'avait vu chez Pixii. un aimant entraîné par la manivelle tourne devant une armature formée de deux bobines sur un noyau en fer à cheval.

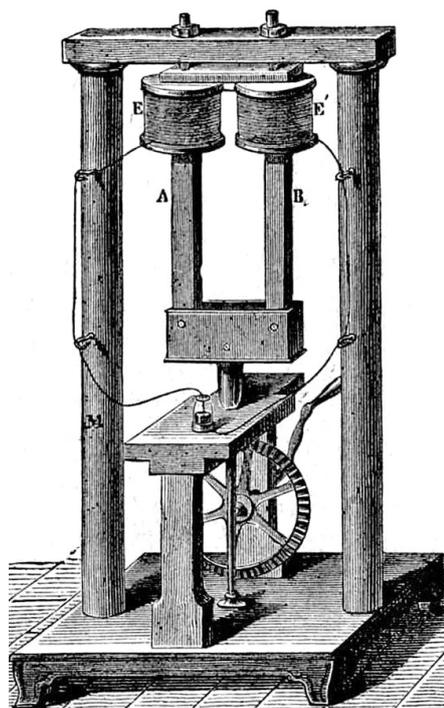
Le courant, pas mesurable avec un galvanomètre à courant continu, est transmis à une coupelle de mercure. Un fil trempe dans le mercure, l'autre

est juste au dessus de sa surface. Les vibrations de la table, quand tourne la machine, provoquent de petites étincelles au contact rompu fugitivement entre le fil en surface et le mercure. Moyen simple pour détecter la circulation d'un courant qui était « **alternativement renversé** »

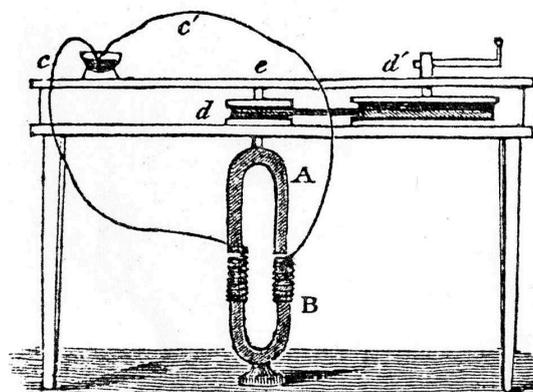
3) Mais ce n'était qu'une maquette provisoire, rapidement transformée en une véritable machine de laboratoire (c). Cette machine n'a pas du être construite à plus de quelques exemplaires, remplacée rapidement par la suivante. Aucun de n'est parvenu jusqu'à nous, seule sa gravure figure dans d'anciens livres.

Que faire alors d'une machine incapable de produire **un vrai courant**, circulant toujours dans le même sens comme celui des piles, **comme le bon sens** le voulait et l'électrochimie l'exigeait.

Elle réapparut sous une autre forme quand on découvrit que les lampes à arc marchaient mieux, en retirant de l'*Alliance* son commutateur-redresseur, base de toute machine à courant continu.(III)



c Machine magnéto-électrique de Pixii à courant alternatif



Pixii magneto generator, without commutator.
b *American Journal of Science*, April 1833, vol. 24.

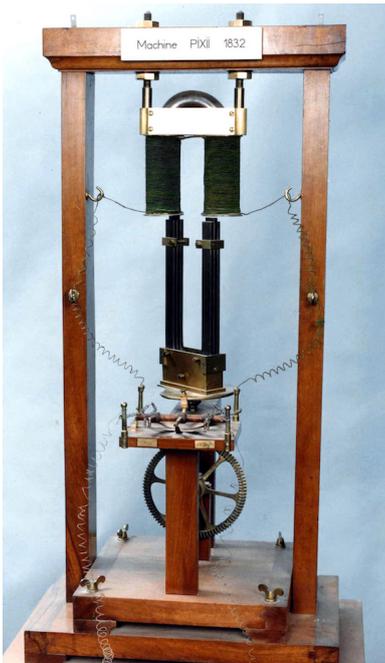
En découvrant un nouveau courant que celui des piles, Ampère inventait le **premier générateur alternatif** à partir d'énergie mécanique, devenu l'*alternateur* en 1876, mais dont sera dérivé aussitôt la *dynamo* pour courant continu.

Aux inventeurs de monter celle-ci en puissance ! Il en faudra plus d'une dizaine et plus de 40 ans..

Dans cette machine de laboratoire, l'induit matérialise l'électromagnétisme de Faraday. Pour monter un peu en puissance, le danois W.Hjorth remplacera en 1851 l'aimant par un électroaimant, matérialisant l'**association générique des deux faces de l'électromagnétisme**.

Tous les **générateurs et moteurs**, seront alors des *machines magnéto-électriques*

4) Il demanda donc à Pixii de modifier sa machine pour qu'elle produise un courant circulant toujours dans le même sens, comme le courant continu des piles. En lui suggérant la **bascule électrodynamique**, petit montage qu'il lui avait fait 12 ans plus tôt, pour inverser facilement le sens du courant dans ses expériences (g).



Générateur Ampère- Pixii 1832



g bascule- redresseur d'Ampère

Bascule-redresseur d'Ampère

Pixii réalisa alors une nouvelle version à **bascule**, de sa machine pour *redresser* ce courant en pseudo-continu.

Il fallut quelques expériences pour vérifier que ce courant par induction, **faradique ou magnétique**, avait bien les mêmes propriétés que le courant voltaïque ou galvanique des piles.

Le premier générateur à courant continu, était inventé, à l'échelle du laboratoire. Il devint pendant quarante ans un important sujet d'améliorations pour monter en puissance, afin de remplacer les piles. Son acte de naissance fut la note d'Ampère à l'Académie du 29 octobre 1832 :

« Note sur une expérience relative au courant produit par la rotation d'un aimant, à l'aide d'un appareil imaginé par M. Hippolyte Pixii ».

Ampère, suivant son tempérament, s'efface pour laisser la paternité de son invention à Pixii, qui l'avait matérialisé; mais surtout pour que l'Académie lui paie ce premier exemplaire et lui en commande d'autres.

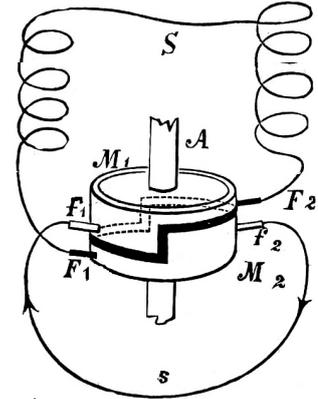
La machine fut donc présentée par Hachette à l'Académie le **26 novembre 1832**, comme *nouveaux appareils électromagnétiques* et valut à Pixii un modeste prix de 300 F.

À la demande du professeur Ampère, l'appareil fut acheté 1200 fr. pour être confié au cabinet de Physique du Collège de France, où il enseignait, avec sa plus grande invention. Deux autres plus petits, à 700 fr., furent commandés pour les cabinets de physique de l'École Polytechnique et de la Faculté de médecine. Plusieurs exemplaires de cette machine à bascule, ou des copies existent encore, celles du Musée Ampère à Poleymieux, réalisée par Delteil, au musée du CNAM, au musée Télécom de Lyon, au Deutsches Museum de Mûnich, au Scientia de Bologne, au Science Museum de Londres et ?

Quant au premier **générateur de courant alternatif**, il fut remis au placard, mais obstiné, réapparaîtra épisodiquement avec des machines améliorées, jusqu'à sa renaissance définitive 50 ans plus tard pour deux raisons :

- a) les lampes à arc fonctionnaient mieux avec l'alternatif, les deux charbons durant quelques heures, s'usaient également, sans régulateur, surtout moins vite avec celle de Jablochkov et sa vaporisation de baryte (III)
- b) pour le transport en courant continu devenu abondant avec la puissante dynamo Gramme et ses copies, mais il était en 110 V, limité au km.

5) La **bascule**, compliquée à fabriquer et à régler, n'était pas pratique. Pixii probablement, la remplaça par un **commutateur rotatif** (j), constitué de deux bagues taillées en créneau, permettant que le courant alternatif du circuit S de la machine soit transmis alternativement par les frotteurs F1 et F2 de chaque bague.



Le circuit d'utilisation S capte un courant toujours de même sens, mais oscillant, car son frotteur F2 change de bague à chaque demi-tour.

Ce commutateur va servir de **redresseur de courant**, avec diverses variantes et améliorations sur toutes les machines inventées jusqu'en 1869, où Gramme le transformera en collecteur à lames multiples (II)

Plusieurs machines à bascule ou commutateur ou copies existent dans les musées en France et plusieurs pays. Le modèle de Ducretet, exposé au CNAM (inv.12190), a un commutateur particulier à quatre frotteurs.

À quoi allait servir cette machine, ancêtre de la dynamo ? À pas grand-chose, seulement des essais de laboratoire pour des expériences électrochimiques ou autres, normalement exécutées avec le courant de piles.

Pourtant l'Académie concluait son rapport décernant un prix à Pixii : « Cet appareil peut remplacer la pile avec avantage. Dans son emploi comme traitement médical, il fonctionne en tout temps sans emploi d'acide, sans aucune préparation, ni détérioration. » - Seul emploi à l'époque ?

Dans cette machine **magnéto-électrique** l'**induit** résulte de l'électromagnétisme de Faraday. Pour monter en puissance, le danois W.Hjorth remplacera en 1851 l'aimant **inducteur** par un électroaimant d'Ampère, matérialisant bien l'association générique des deux faces de l'électromagnétisme. Association exceptionnelle, entraînant la **réversibilité** des générateurs/moteurs en courant continu.

Epilogue

Ampère a lancé l'électricité débutante sur deux voies essentielles à notre civilisation moderne :

- l'électricité, **vecteur d'information** avec la possibilité du télégraphe par fil,
- l'électricité, **vecteur d'énergie** avec l'invention du générateur/moteur électromagnétique

Il participa à l'**unification** des phénomènes physiques : après deux semaines de réflexion et deux ans d'expériences, il unifie l'**électricité** et le **magnétisme**, l'électromagnétisme.

Dans le domaine des ondes, Maxwell théorisa ensuite l'**identité de la lumière et des ondes électromagnétiques**, mais leur découverte par Hertz attendra 20 ans.

Plus tard, Einstein, révélera l'**équivalence matière et énergie**

Ampère

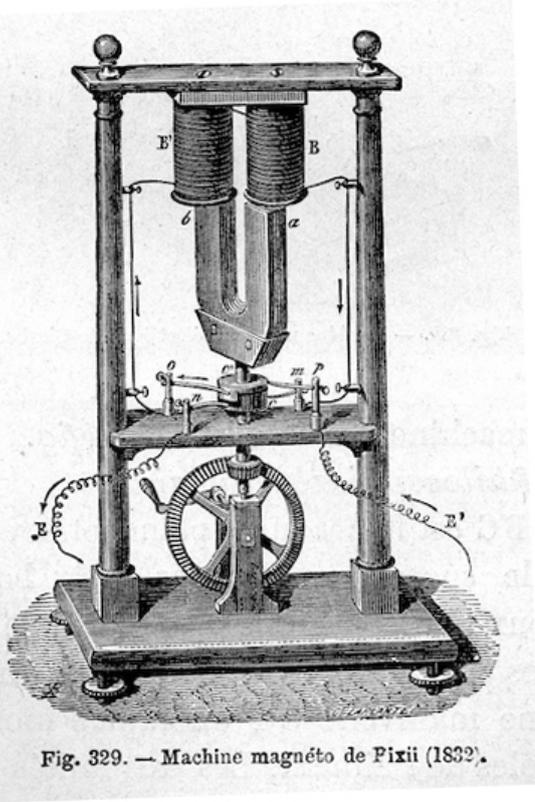


Fig. 329. — Machine magnéto de Pixii (1832).

Pour mieux **comprendre** la genèse de nos systèmes électriques :

Le livre : l'histoire pour comprendre - electricite-decouvreur-inventeurs.com

Le Musée : l'histoire matérialisée



Musée Electropolis **Mulhouse**



**ODYSS
ELEC**



