

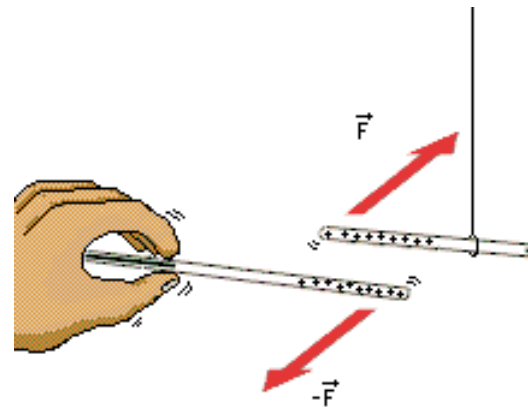
Petite histoire de
l'électricité, du magnétisme et de
l'électromagnétisme

- Cette branche de la Physique est tout à fait à part:
elle n'a pas de phénomènes naturels (à l'exception de la foudre).
- < 1600 seulement ambre frotté...
- 1600-1800 une histoire comique.
- 1800 le grand siècle de l'électricité.

< 1600

Les phénomènes électrostatiques d'attraction et de répulsion, obtenus en frottant de l'ambre ou d'autres substances vitreuses, étaient connus dès la haute Antiquité. Ils sont notamment cités par les philosophes grecs **Thalès** (VIe siècle av. J.-C.) et **Théophraste** (IVe-IIIe siècle av. J.-C.).

Ambre en grec = électron
(ηλεκτρον)



< 1600



« Il y a des pierres qui attirent le fer »

Le phénomène du magnétisme est connu depuis l'Antiquité. Les Grecs, les Romains et les Chinois avaient remarqué que l'oxyde de fer magnétique, **la magnétite** (on en trouve en abondance dans une région qui s'appelle la Magnésie), avait la faculté d'attirer les objets contenant du fer. Ils avaient également constaté qu'un morceau de fer mis en contact avec la magnétite acquérait la même propriété.

Electricité et Magnétisme sont donc nés à peu près
au même endroit et au même moment



Magnésie

Vers le X^e siècle

Boussole chinoise pour la navigation → navigateurs arabes → européens



Boussole chinoise ancienne

(d'abord dans l'eau puis sur pivot en Italie vers 1450)



Boussole moderne

Le Nord magnétique est différent
du Nord géographique:

(1900 km du pôle Nord)

William Gilbert (v. 1540-1603)



1600: publication par le physicien anglais **William Gilbert** de la première analyse méthodique, sur l'électricité: *De Magnete magneticisque corporibus*

- Réflexions et expériences sur les aimants (comme le titre l'indique) mais aussi sur l'électrisation

-Médecin de la reine Elisabeth I (1533-1603)



Il constate que:

- Il n'y a pas que l'ambre qui ait la « vertu électrique »: la plupart des pierres précieuses, le verre, le soufre, le mastic, divers résines s'électrisent par frottement.

Ces corps sont les *idio-électriques*

- Il y a de nombreux corps incapables de s'électriser par frottement: *anélectriques*

cette classification semble naturelle mais ...

- les attractions magnétiques et électriques ne sont pas de même nature

Pour faire ses expériences il choisit un tube de verre frotté avec un chiffon de laine.

(ces instruments furent utilisés tout au long du XVII et XVIIIe siècle)

Toujours dans *De Magnete magneticisque corporibus*

William Gilbert invente un modèle...

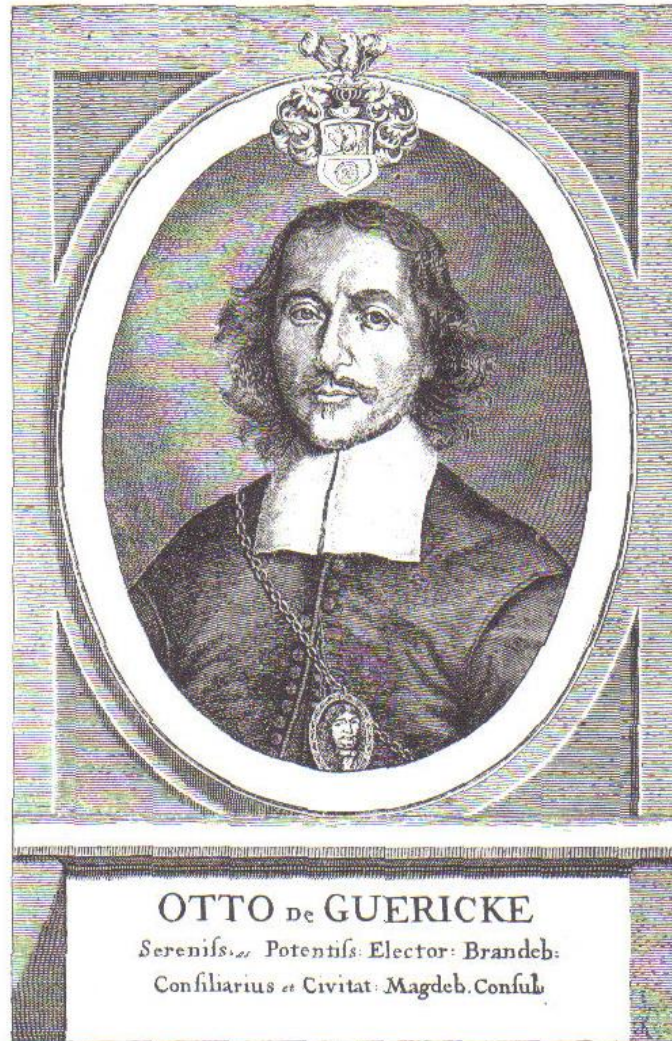
Terrella: Terre en miniature taillée dans la magnétite et à la surface de laquelle une petite aiguille aimantée s'oriente toujours suivant le méridien.

- La Terre est un gigantesque aimant.
- Premier modèle du magnétisme terrestre.

En conclusion:

Il rend l'électrisation accessible à l'expérience
→ démarrage des « études électriques »

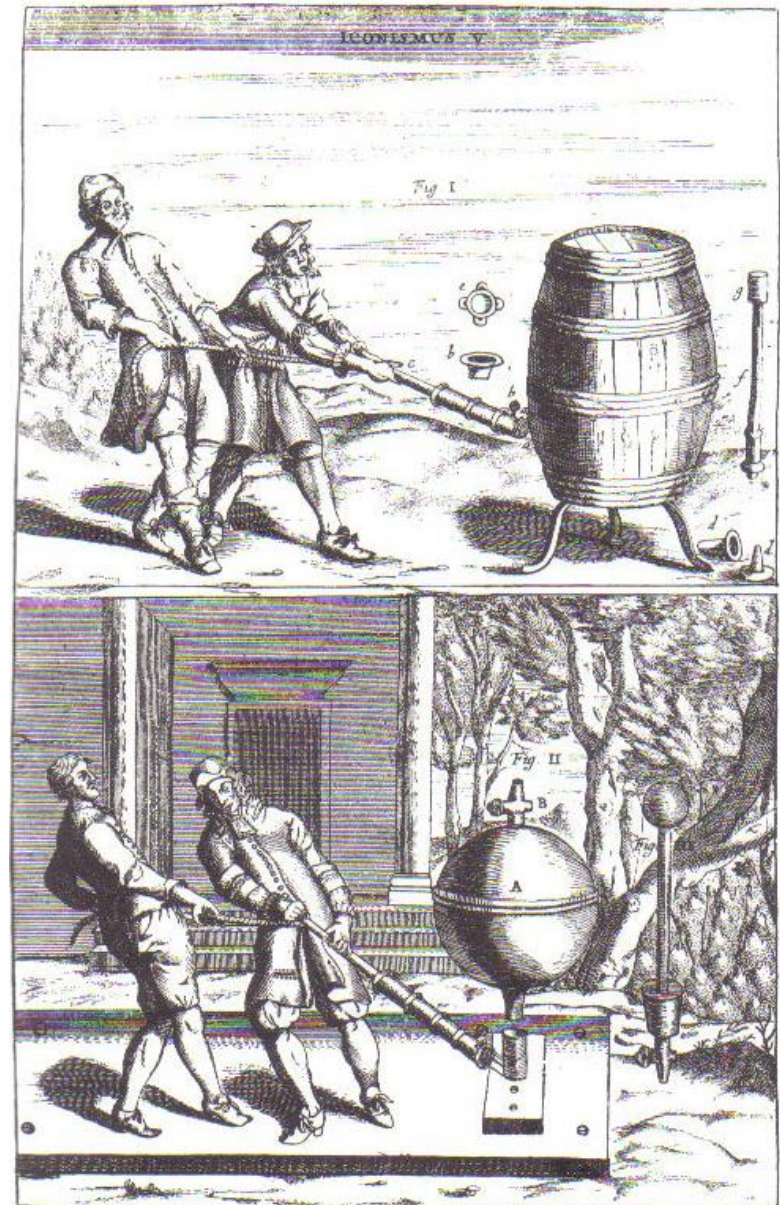
Otto von Guericke (1602-1686)





« les hémisphères de Magdeburg »

Huit chevaux...

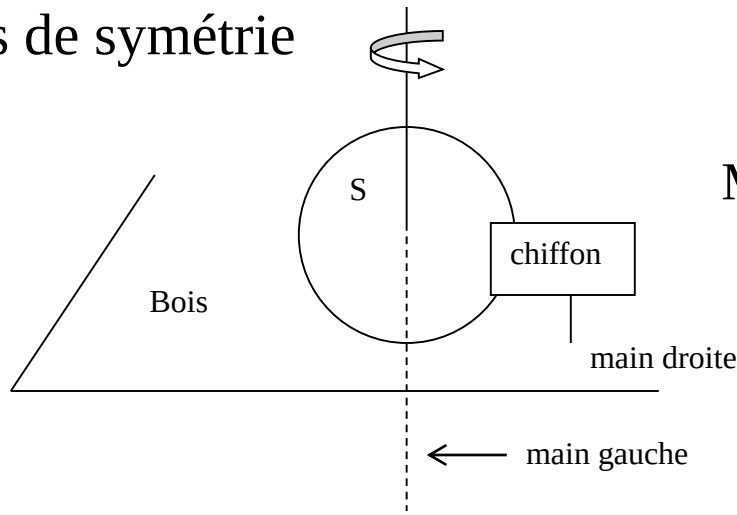




Les machines électriques > 1600

Otto von Guericke (1602-1686) Bourgmestre de Magdeburg (100 km à l'Ouest de Berlin)

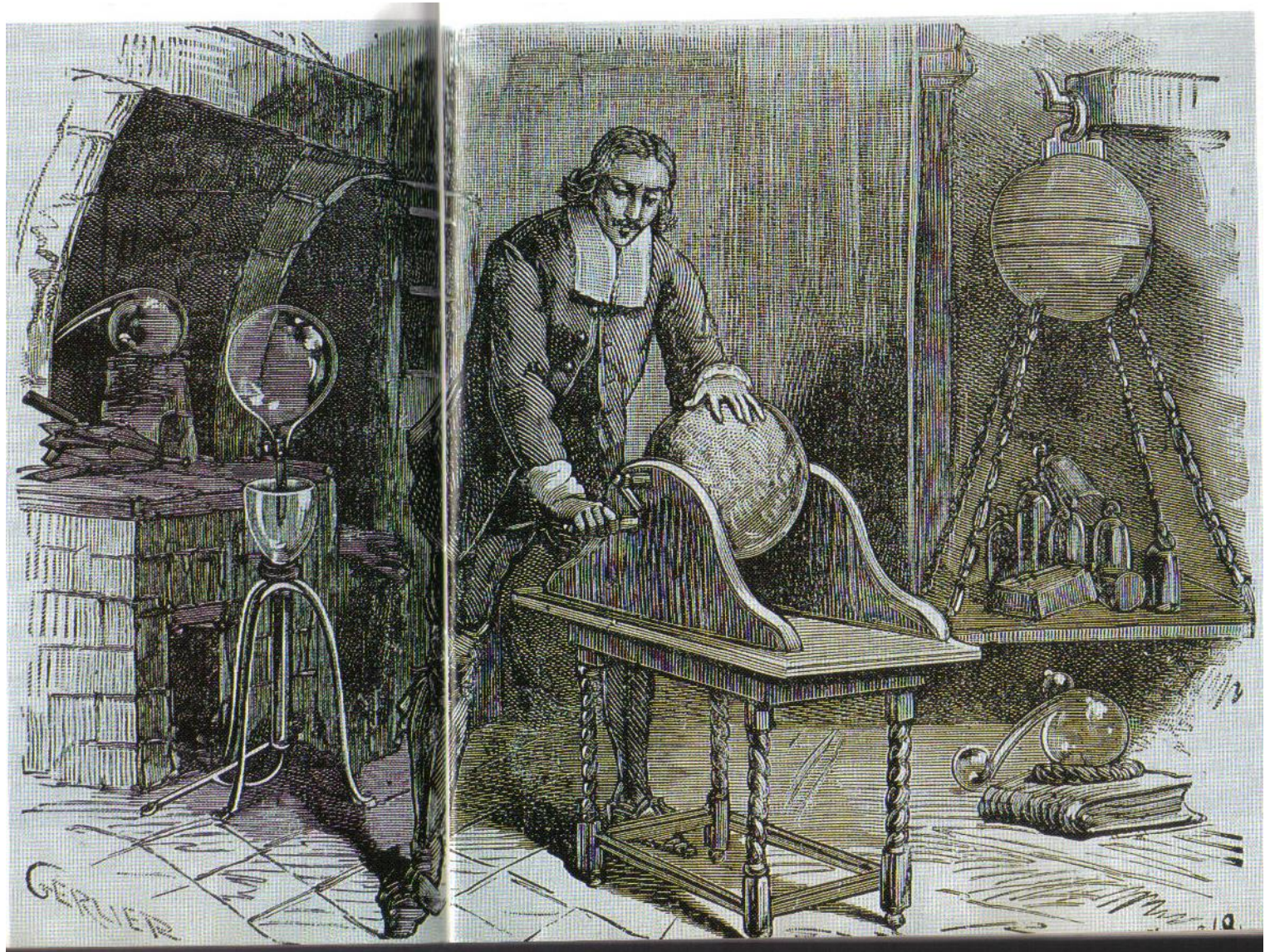
- En 1672 il mit au point la première machine produisant une charge électrique (machine électrostatique). *Elektrisiermaschine*
- Il choisit un morceau de soufre ??? (qualités incendiaires voire diaboliques, alchimiques*) en forme de globe qui tourne autour d'un de ses axes de symétrie



Modèle planétaire ?



*D'après Paracelse (célèbre alchimiste du XVI^e siècle), les corps composés sont constitués de sel, de soufre et de mercure, représentant respectivement la terre, l'air et l'eau.



Pour répéter l'expérience fondamentale de Gilbert, on prend un gros bâton de verre, de cire d'Espagne, de gomme laque (résine) ou de soufre; on le saisit d'une main par l'une de ses extrémités et on le frotte vivement dans toute sa longueur avec une étoffe de laine ou une peau de chat; on l'approche ensuite d'une table sur laquelle ont été déposés de la sciure de bois, des barbes de plumes ou en général des fragments déliés de corps légers, et on les voit s'envoler d'abord vers le cylindre frotté qui les attire, puis se disperser dans toutes les directions par l'effet d'une répulsion qui, après le contact, succède à l'attraction. Cette répulsion a été observée pour la première fois par Otto von Guericke (*Experimeata Magdeburgica*).

Quand, au lieu de présenter le bâton frotté à des corps légers, l'opérateur l'approche de sa joue sans la toucher, il éprouve un chatouillement comparable à celui que cause une toile d'araignée. Si le bâton a de grandes dimensions et qu'il ait été frotté pendant longtemps, ces impressions s'exagèrent; sent une série de picotements douloureux, on entend une suite de décrépitations, et l'on voit dans l'obscurité de nombreuses étincelles lumineuses éclater entre les organes et les parties du bâton qui les viennent approcher; après quoi ces parties ont perdu les propriétés qu'elles avaient reçu par le frottement et se retrouvent à leur état naturel.

Tous ces effets ont été observés pour la première fois par **Otto von Guericke** avec son globe de Soufre.

Conducteurs et isolants

1729 physicien anglais **Stephen Gray**

Le bouchon prend la propriété d'attirer les corps légers toutes les fois que l'on frotte le tube de verre.

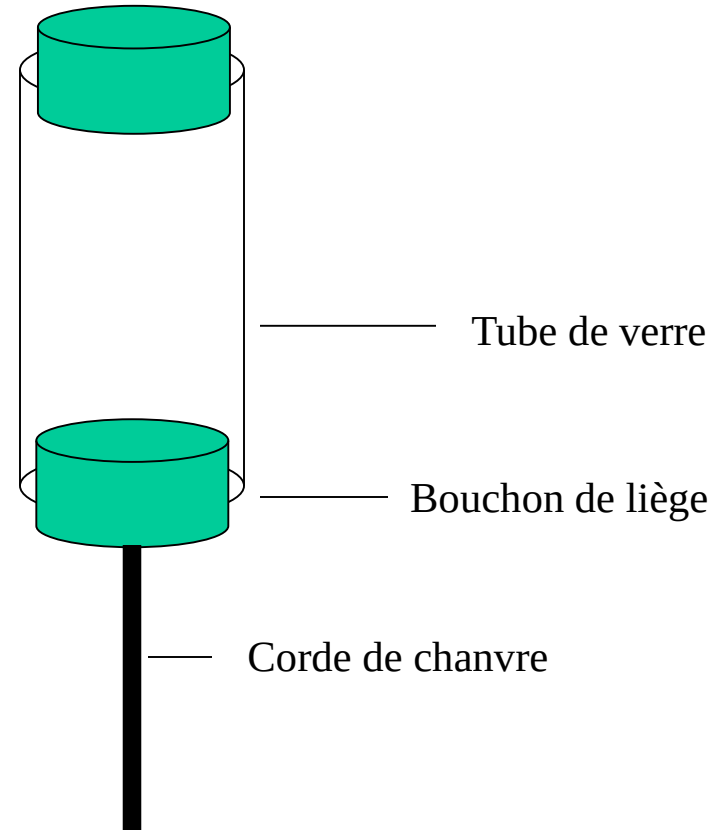
→ électrisation par influence

133 m de corde de chanvre accrochée au bouchon et soutenue par des rubans de soie accrochés au plafond. Il constate une action électrique sur toute l'étendue de la corde.

→ Le chanvre est *conducteur d'électricité*

D'après **Gilbert**:

- tube de verre: *idio-électrique*
- bouchon de liège: *anélectrique*



Conducteurs et isolants

CONDUCTEURS.

Métaux.	Végétaux.
Charbon calciné.	Animaux.
Plombagine.	Flamme.
Acides.	Vapeur d'eau.
Solutions salines.	Air raréfié.
Minerais métalliques.	Verre pulvérisé.
Eau (<i>non distillée</i>).	Fleur de soufre.

ISOLANTS.

Glace.	Soie.
Phosphore.	Diamant.
Chaux.	Mica.
Craie.	Verre.
Lycopode.	Jais.
Caoutchouc.	Cire.
Camphre.	Huiles fixes.
Marbre.	Essence de térébenthine
Porcelaine.	Sulfure de carbone.
Bois sec et chauffé.	Gutta-percha.
Air et gaz secs.	Soufre.
Papier sec.	Résines.
Plumes.	Ambre.
Cheveux, laine.	Gomme laque.

▪ Un des rubans de soie casse; il est remplacé par un fil de laiton...il n'y a plus d'attractions

→ La soie est un corps isolant

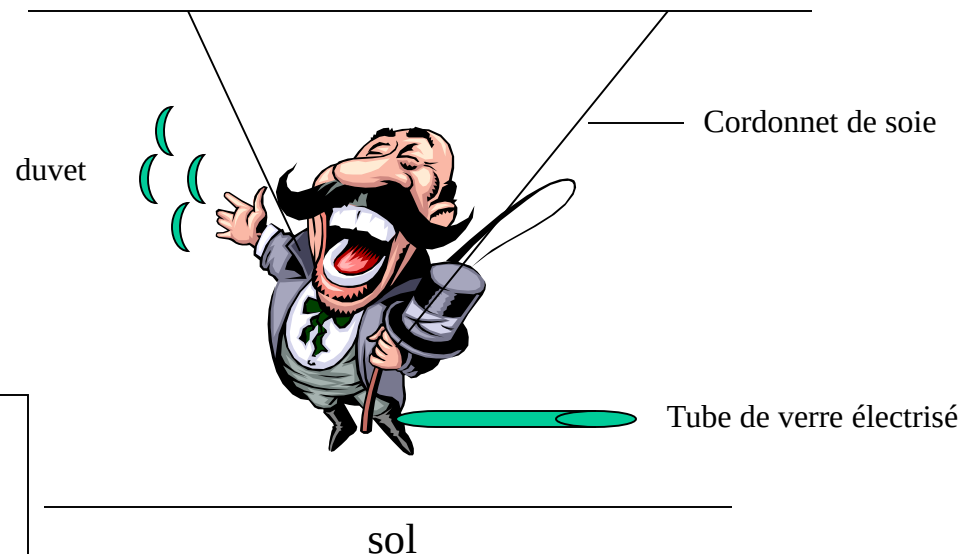
▪ Analogie avec un *fluide*

→ le « *fluide électrique* »

→ *Concept important* pour la suite de l'histoire

Jamin et Bouty
Cours de l'école polytechnique
(1881)

Première expérience impliquant
le corps humain !



le « *fluide électrique* »

Une heureuse analogie permet de réunir entre eux les phénomènes observés par Gray et nous sera plus tard d'une grande utilité. Considérons le tube de verre frotté comme réservoir d'eau, la corde de chanvre comme un tuyau en communication avec ce réservoir et placé à un niveau inférieur. L'eau s'écoule dans ce tuyau et, pourvu que les parois en soient parfaitement étanches, ne se déverse pas au dehors; mais s'il y a quelque part une fissure, l'eau se répand et le réservoir ainsi que le tube se vident complètement. L'air qui environne la corde de chanvre, les fils de soie qui la soutiennent sont des substances isolantes et se comportent comme des parois étanches; mais le fil de laiton est conducteur et joue dans l'expérience de Gray le même rôle que la fissure dans les parois tube plein d'eau que nous avons imaginé.

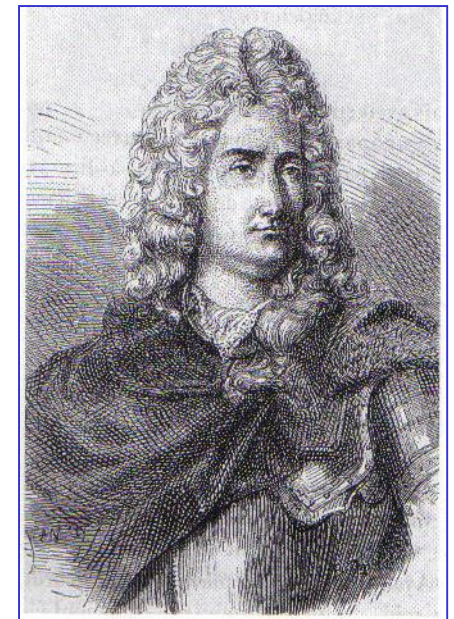
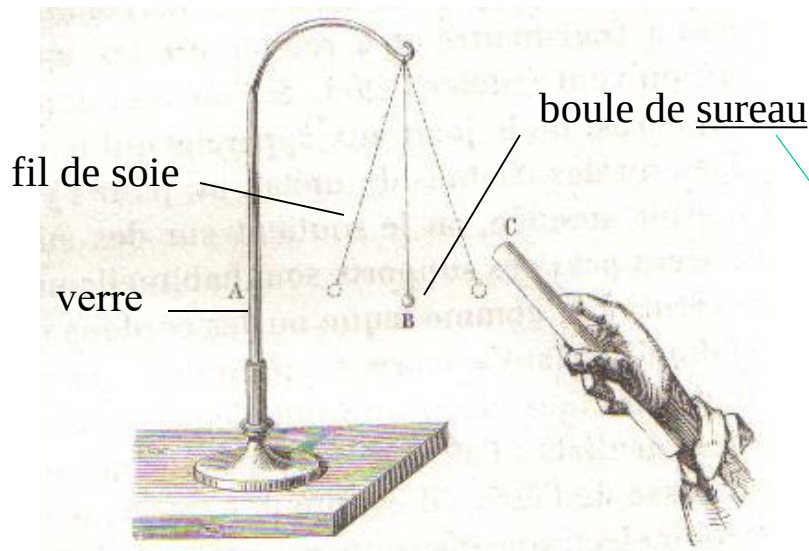
Deux espèces d'électricité

Charles Du Fay (1698-1739), intendant du jardin roi (Louis XV)

- Il clarifie les expériences de **Gray**.
- Il découvre qu'il existe deux types d'électricité:

vitreuse et résineuse

C: bâton de **verre** ou de **résine** frotté



- Première étincelle tirée d'un corps humain
(Assistant Abbé Nollet)

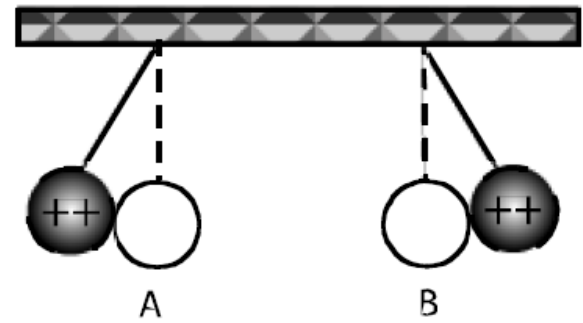
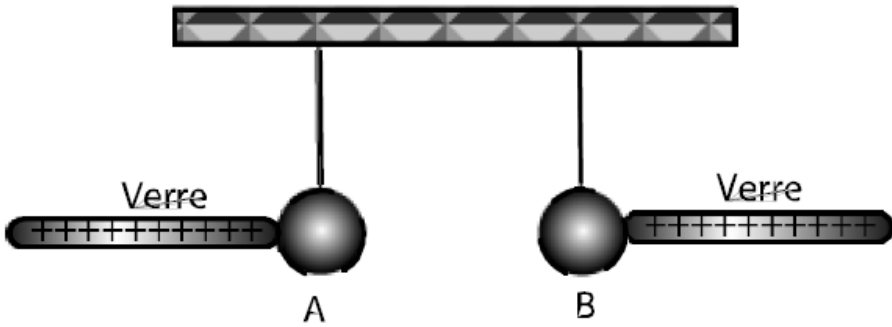
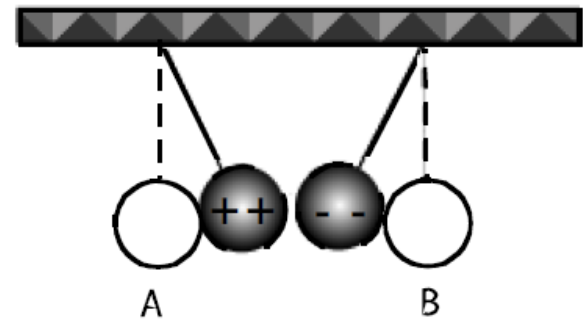
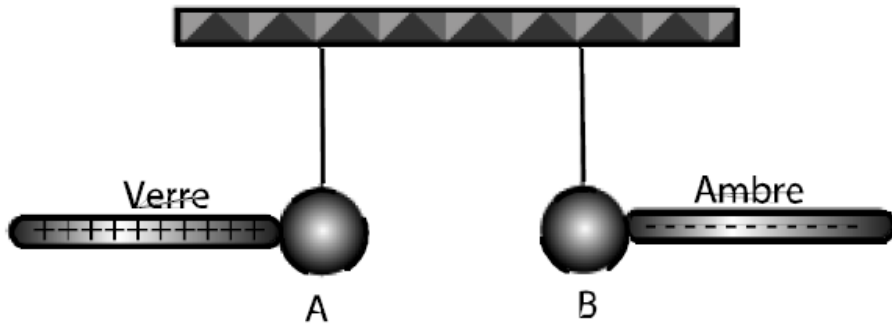
Il remonte jusqu'à l'observation faite par Guericke de la répulsion exercée par un corps chargé sur un corps initialement neutre qui est venu le toucher. **Du Fay** pose en principe :

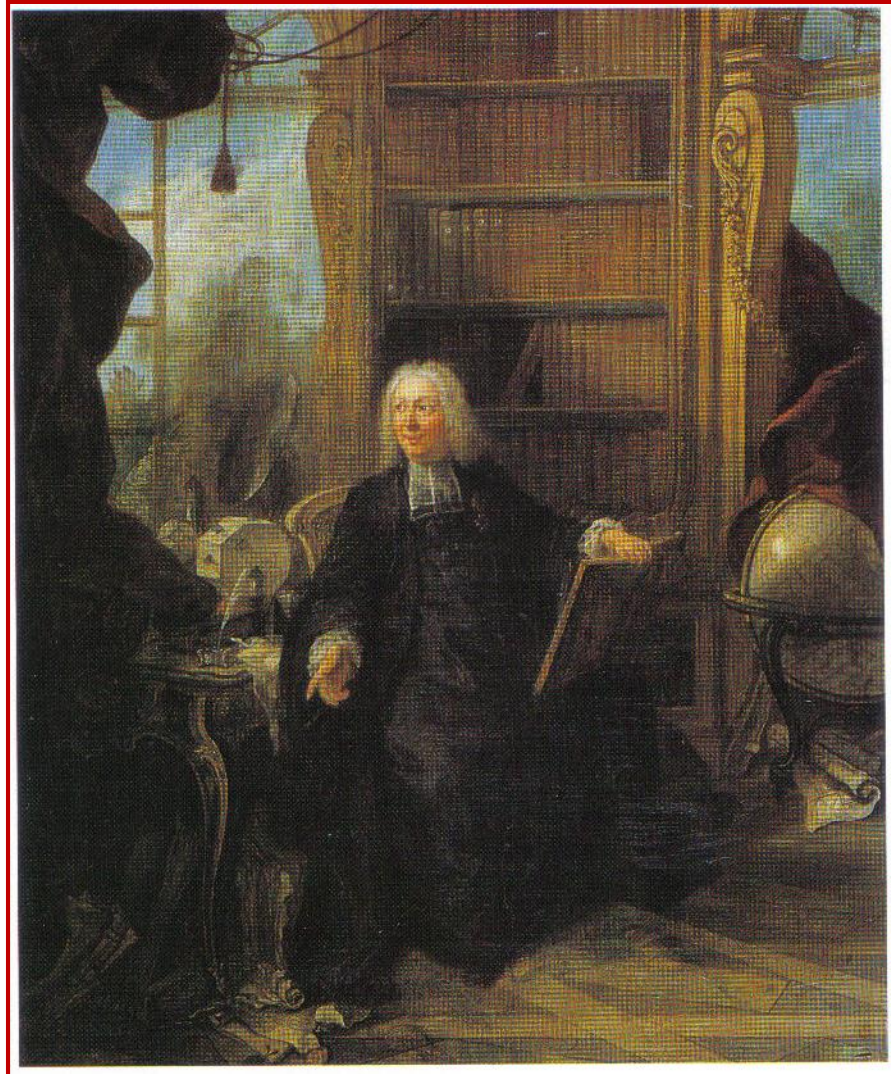
- **que les corps électrisés attirent ceux qui ne le sont pas ;**
- **qu'ils repoussent ceux qui sont venus s'électriser à leur contact.**

« Le hasard m'a présenté un autre principe plus universel et plus remarquable que le précédent, et qui jette un nouveau jour sur la matière de l'électricité.

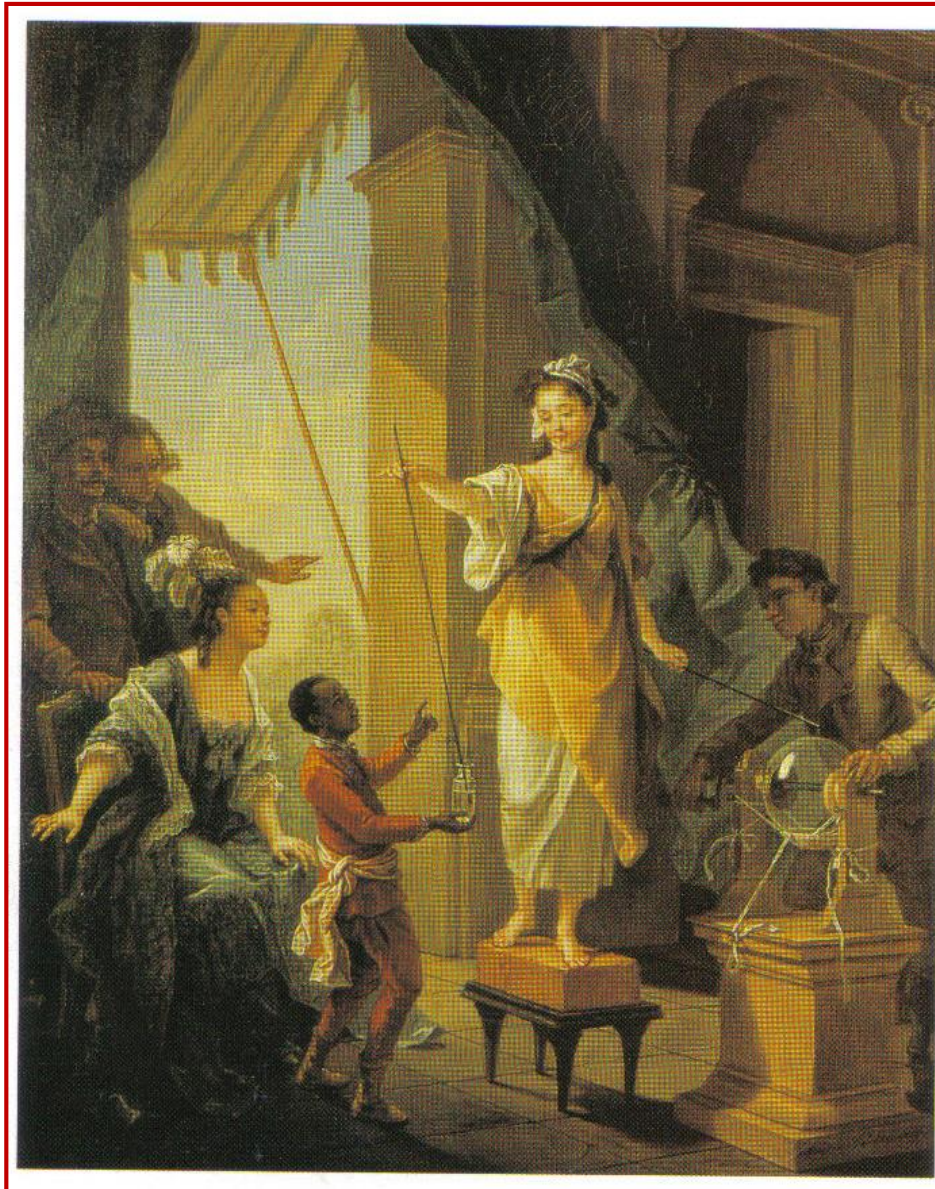
Ce principe est qu'il y a deux sortes d'électricité fort différentes l'une de l'autre: l'une que j'appelle électricité vitrée, et l'autre électricité résineuse. La première est celle du verre, du cristal de roche, des pierres précieuses, du poil des animaux, de la laine, et de beaucoup d'autres-corps. La seconde est celle de l'ambre, de la gomme copale, de la gomme laque, de la soie, du fil, du papier, et d'un grand nombre d'autres substances.

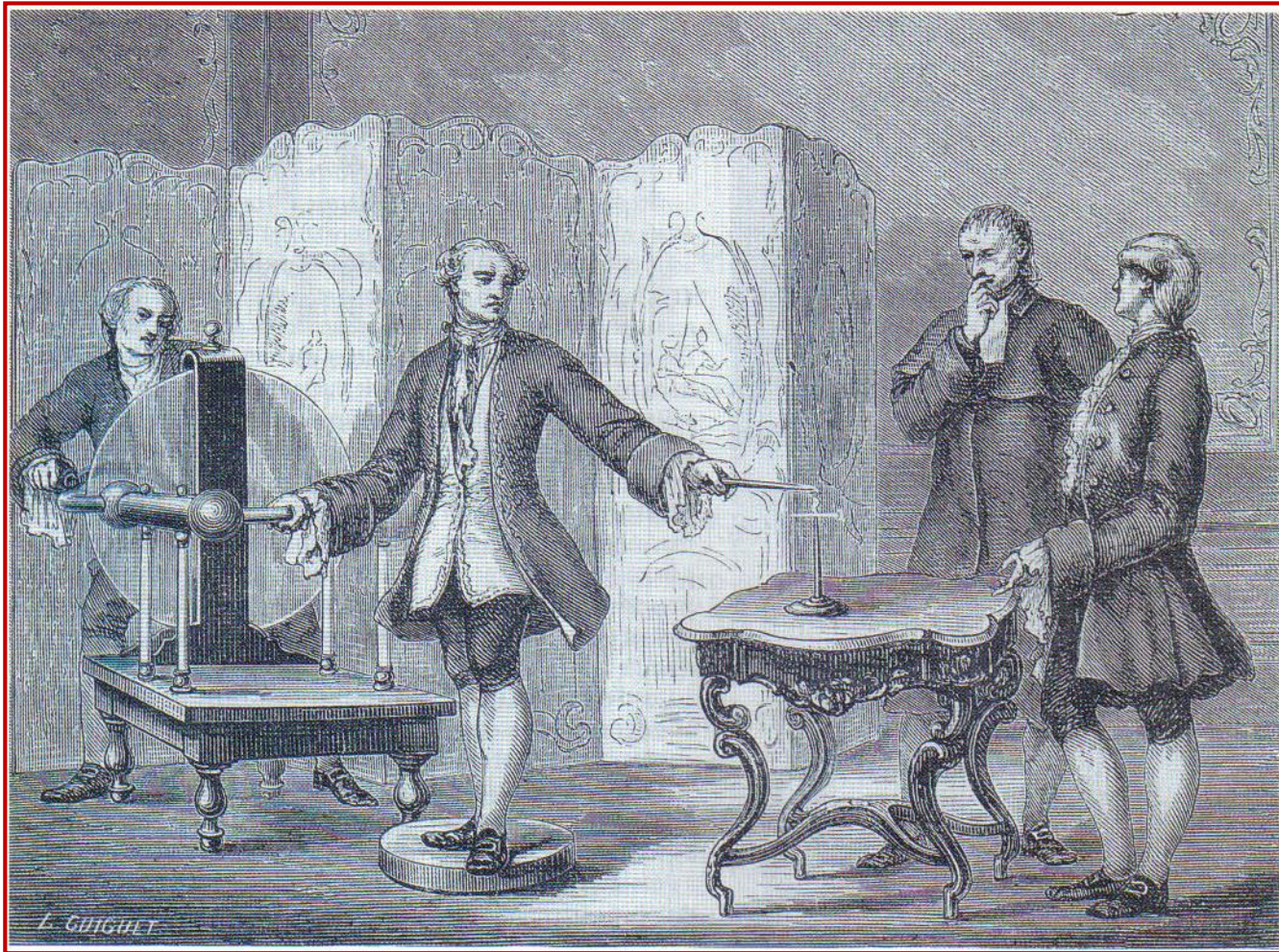
Le caractère de ces deux électricités est de se repousser elles-mêmes, et de s'attirer l'une l'autre. Ainsi, un corps de l'électricité vitrée repousse tous les autres corps qui possèdent l'électricité vitrée, et au contraire il attire tous ceux de l'électricité résineuse. Les résineux pareillement repoussent les résineux, et attirent les vitrés. On peut aisément déduire de ce principe l'explication d'un grand nombre d'autres phénomènes, et il est probable que cette vérité nous conduira à la découverte de beaucoup d'autres choses. »





Abbé Nollet (1700-1770)







Leiden

Une expérience nouvelle mais terrible ou vive les châtaignes !

Je veux vous communiquer une expérience nouvelle, mais terrible, que je ne conseille de ne point tenter vous-même...

Premier condensateur électrique mis au point en 1745 à Leyde, aux Pays-Bas. Ce condensateur a été longtemps utilisé. Il est constitué d'une bouteille de verre recouverte extérieurement d'une feuille d'étain, correspondant à l'armature externe. L'armature interne est constituée de feuilles de clinquant (or, argent, etc.) reliées à une tige métallique, le tout placé dans la bouteille.



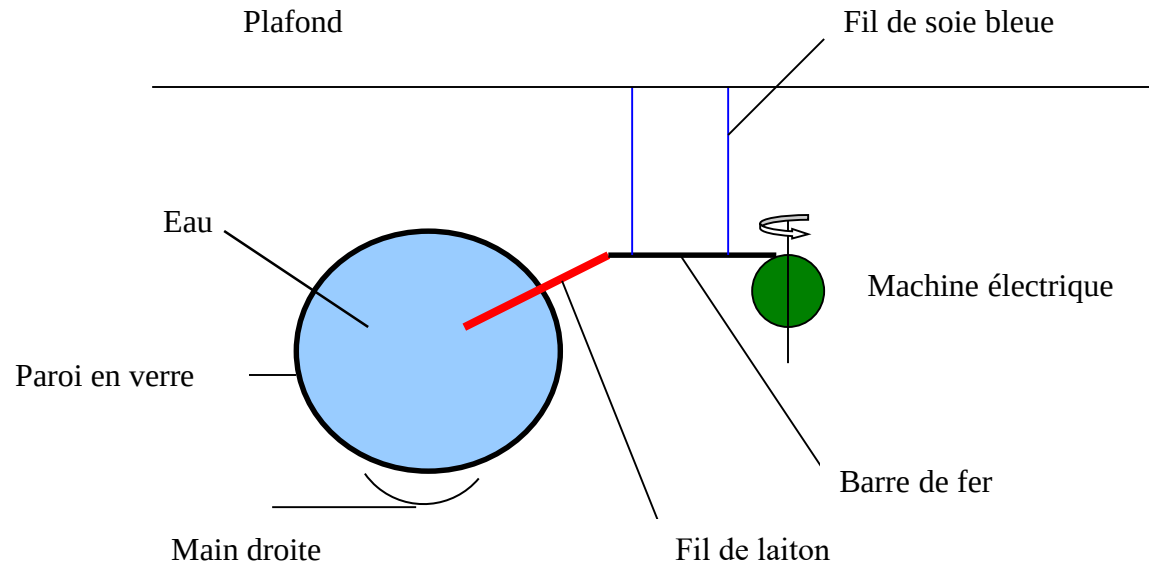
Bouteille de Leyde (1745)
Musschenbroek

« Dans ce but, j'avais suspendu à deux fils de soie [bleue](#) (toujours de la soie bleue!) un canon de fer, qui par communication recevait l'électricité d'un globe de verre qu'on faisait tourner rapidement sur son axe, pendant qu'on le frottait en y appliquant les mains. À l'autre extrémité pendait librement un fil de laiton dont le bout était plongé dans un vase de verre rond, en partie plein d'eau, que je tenais dans ma main droite ; avec l'autre main, j'essayais de tirer des étincelles du canon de fer électrisé. Tout à coup ma main droite fut frappée avec tant de violence, que j'eus tout le corps ébranlé comme d'un coup de foudre. »

— Pieter van Musschenbroek, Histoire de l'électricité et de ses principes



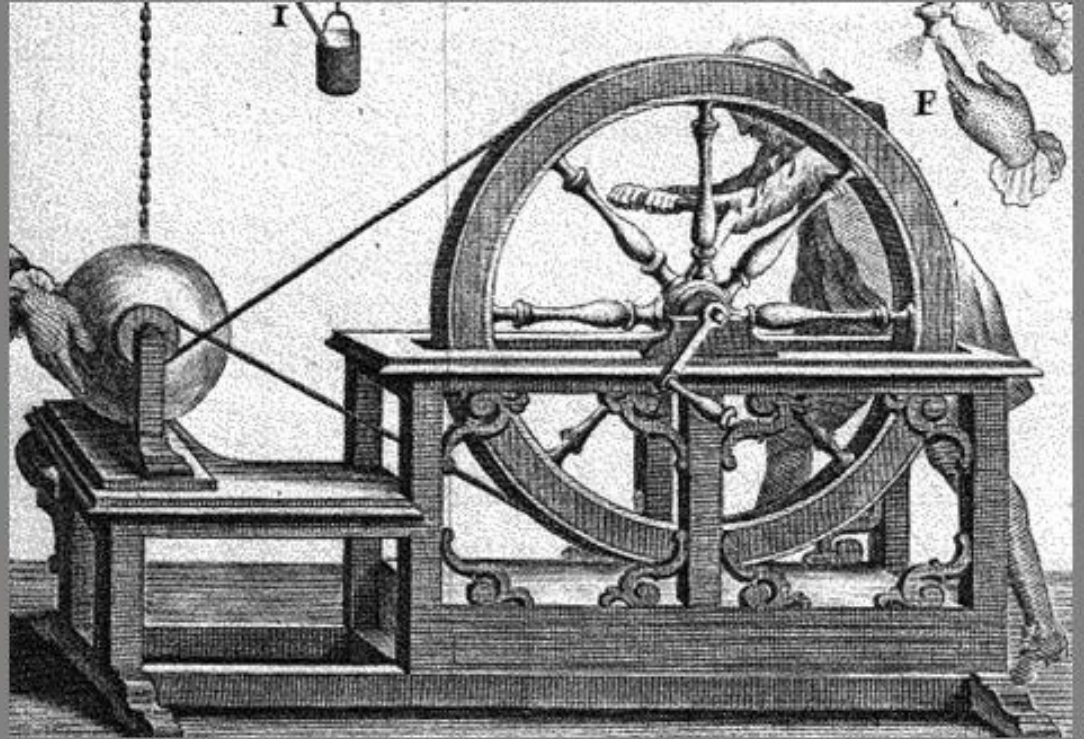
Il cherche comment on pourrait garder du fluide électrique sans qu'il se dissipe...



« Je ne suis pas près de recommencer même si on m'offre la couronne de France »

→ L'abbé Nollet (1700-1770) organise des « commotions en commun »

Cabinet de curiosités



La machine électrique de l'Abbé Nollet

Peinture de Maurice-Quentin de La Tour

LETTRES SUR L'ÉLECTRICITÉ.

*Dans lesquelles on examine les dernières
Découvertes qui ont été faites sur cette
Matière, & les conséquences que
l'on en peut tirer.*

Par M. l'Abbé NOLLET, de l'Académie Royale
des Sciences, de la Société Royale de Londres, de
l'Institut de Bologne, & Maître de Physique de
M. LE DAUPHIN.



A PARIS,

Chez HIPPOLYTE-LOUIS GUÉRIN, &
LOUIS-FRANÇOIS DELATOUR, rue
S. Jacques, vis-à-vis les Mathurins,
à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. LIII.

Avec Approbation & Privilège du Roi.

8° S. 6759

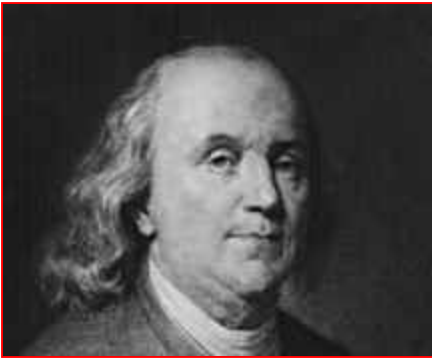
Expérience de chaîne humaine réalisée par l'abbé Nollet...et beaucoup d'autres





L'abbé Nollet présentait, dans les années 1740, des expériences de physique dans les salons grâce à des machines comportant une roue et un globe de verre qui permettait de générer des phénomènes électriques spectaculaires.





Ce fut aussi un homme politique qui joua un rôle déterminant dans la naissance des États-Unis.

Apport aussi bien théorique qu'expérimental.

Benjamin Franklin

(1706-1790)

- Un fluide électrique unique.
- Première apparition du principe fondamental de *conservation de la charge*.
- La charge électrique acquiert un caractère quantitatif.
- Electricités négative et positive

Lettres sur l'électricité: opinions et conjectures sur les propriétés et sur les effets de la matière électrique (1749).

→ diffusion de ses idées en Europe

...et en France grâce à **Buffon** (anglophile), naturaliste, successeur de **Du Fay**

<http://www.ampere.cnrs.fr/histoire/parcours-historique/lois/mathematisation>



- Identité de la décharge électrique et de la foudre*
- Il découvre le pouvoir des pointes.
- Il invente le paratonnerre.

Ces tiges forment un passage de faible résistance pour la foudre, et donc l'empêche de passer à travers la structure elle-même

- Exploration de l'électricité atmosphérique grâce à un cerf-volant.

- **Buffon** en France découvre ses travaux première expérience à Marly le 10 mai 1752.

- 1782: installation des premiers paratonnerres en France.

*En termes modernes: décharge d'un condensateur entre deux nuages ou un nuage et la Terre.



►1752 Le cerf-volant, la clef et le paratonnerre

Les mystères de l'électricité sont levés à la fois en Europe et aux États-Unis. Un homme y joue un rôle central : Benjamin Franklin.

Jean Audouze
est directeur de recherche
au CNRS.

« **L**a foudre est-elle de l'électricité venue du ciel ? » se demande l'Américain Benjamin Franklin. Ayant remarqué que les pointes métalliques concentrent les charges élec-

triques, il conçoit une expérience qui va répondre à la question. « Sur le sommet d'une tour ou d'un clocher, placez une guérite [à l'intérieur de laquelle] un tabouret [...] est relié à une verge métallique, qui passe en se courbant hors de la porte, et de là se relève perpendiculairement à la hauteur de 20 ou 30 pieds et se termine en une pointe fort aiguë [...] », écrit-il en 1750, après quatre autres lettres traitant de la nature de l'électricité, au physicien anglais Peter Collinson, membre de la Royal Society. L'année suivante, Collinson, présentant l'importance des apports de Franklin, publie les cinq lettres. En France, Buffon en obtient un exemplaire. Il demande au naturaliste Thomas F. Dalibard de les traduire en français et de réaliser l'expérience proposée par Franklin. C'est le cas le 10 mai 1752, lors d'un orage survenu au-dessus de Marly-la-

Ville. Grâce à une tige métallique verticale longue de quarante pieds, un menuisier du nom de Coiffier, agissant sur instruction de Dalibard, capture l'électricité d'un éclair dans la « boîte sentinelle », un dispositif conçu pour collecter les charges électriques. Dalibard remet trois jours plus tard son rapport à l'Académie des sciences de Paris, qui attribue la paternité de la découverte à Franklin.

Mais Franklin n'en a pas connaissance. De son côté, il a une autre idée pour s'approcher un peu plus près des nuages. Plutôt que de placer une guérite sur un toit de Philadelphie, il conçoit un cerf-volant en soie, muni d'une pointe et tenu par une corde constituée d'abord de chanvre, puis de soie. À la jonction des deux matériaux, il installe une clef métallique qui s'électrifiera au contact d'un éclair. En juin 1752, l'orage se présente. Il part, seul avec son fils William, afin de ne pas se prêter au ridicule d'une expérience ratée. Alors que l'orage gronde, il voit les brins de chanvre s'écarter. Il met alors le doigt sur la clef et fait jaillir l'étincelle.

Sécurité des citoyens

Partout en Europe, les esprits se passionnent pour l'expérience. Chacun veut observer le « pouvoir des pointes métalliques » lors des orages. En France, Jacques de Romas lance des cerfs-volants, en Italie, le père Beccaria reprend l'expérience initiale, de même en Russie, où le professeur Richman ne prend pas assez de précautions et meurt électrocuté. L'abbé Nollet, jaloux du succès des expériences de Franklin, essaie de tirer avantage de cet accident pour jeter le discrédit sur ces travaux et leur auteur.

Et pourtant Franklin, soucieux de sécurité, avait prévenu de l'attention à porter à l'isolation de l'expérimentateur. Même si ses travaux sur l'électricité sont plutôt d'ordre fondamental (nature de l'électricité, concept des charges électriques, différence entre isolants et conducteurs), il cherche avant tout à protéger la population des méfaits de la foudre. C'est pourquoi ses études le conduisent à mettre au point son paratonnerre. Il en décrit le prototype en 1753 dans *L'Almanach du bonhomme Richard*, publication annuelle qu'il assurait depuis 1732. Il installe, sur le toit de sa maison, un long barreau isolé et relié à deux sonnettes qui viennent à tinter lorsque le barreau reçoit une décharge induite par un éclair. Les premiers exemplaires sont loin d'être parfaits, mais dix ans plus tard ses paratonnerres parviennent à protéger toutes les habitations, y compris des orages les plus forts. ■ J. A.

POUR EN SAVOIR PLUS

■ *Moi, Benjamin Franklin, citoyen du monde, homme des Lumières.* Autobiographie et textes de Benjamin Franklin réunis et commentés par Jean Audouze. Dunod, 2006.

■ Christian Bouqueneau, *Doit-on craindre la foudre ?*, EDP Sciences, 2006.



BENJAMIN FRANKLIN était seulement accompagné de son fils lorsqu'il réalisa son expérience sur la nature électrique de la foudre. Il redoutait le ridicule d'une expérience ratée.

■ *Moi, Benjamin Franklin, citoyen du monde, homme des Lumières.* Autobiographie et textes de Benjamin Franklin réunis et commentés par Jean Audouze. Dunod, 2006.



Corde de chanvre humide

Sonneur foudroyé.

« Toutes les fois que des niais sonnent des cloches pour protéger un canton contre la foudre, ils acquièrent incontestablement le droit de croire que c'est à ce bruit incommode qu'ils ont dû le salut du pays. Si la foudre ne tombe pas dans le voisinage, c'est aux cloches et à ceux qui les ont mises en branle que la reconnaissance publique ira s'adresser. On peut même ajouter, si la foudre tombe par hasard, que les sacristains n'ont pas sonné assez fort. Leur foi n'étant pas assez grande, la faute en est à la philosophie ! » W. de Fonvielle (1874)

PREMIER MÉMOIRE
SUR
L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME.
 Par M. COULOMB.

Construction & usage d'une Balance électrique, fondée sur la propriété qu'ont les Fils de métal, d'avoir une force de réaction de Torsion proportionnelle à l'angle de Torsion.

Détermination expérimentale de la loi suivant laquelle les élémens des Corps électrisés du même genre d'Électricité, se repoussent mutuellement,

DANS un Mémoire donné à l'Académie, en 1784, j'ai déterminé, d'après l'expérience, les loix de la force de torsion d'un fil de métal, & j'ai trouvé que cette force étoit, en raison composée de l'angle de torsion, de la quatrième puissance du diamètre du fil de suspension & de l'inverse de sa longueur, en multipliant le tout par un coëfficient constant qui dépend de la nature du métal, & qui est facile à déterminer par l'expérience.

J'ai fait voir dans le même Mémoire, qu'au moyen de cette force de torsion, il étoit possible de mesurer avec précision des forces très-peu considérables, comme, par exemple, un dix millième de grain. J'ai donné dans le même Mémoire une première application de cette théorie, en cherchant à évaluer la force constante attribuée à l'adhérence dans la formule qui exprime le frottement de la surface d'un corps solide en mouvement dans un fluide.

Je mets aujourd'hui sous les yeux de l'Académie, une balance électrique construite d'après les mêmes principes;
Mém. 1785. Cccc



Charles Augustin de Coulomb
 (1736-1806)

détermination d'une loi !

- En 1764, un jeune ingénieur militaire quitte le port de Brest. Le nom du vaisseau qui l'emporte ? Le "Brillant"... A la Martinique, Charles-Augustin Coulomb construit l'imposant Fort Bourbon: sept ans de travaux, plus de mille hommes sous ses ordres. Vingt ans plus tard, l'ingénieur s'est métamorphosé en académicien: dans l'intimité d'un cabinet de physique, il conçoit et manipule une balance d'une stupéfiante sensibilité...
- C'est le premier savant à avoir étendu l'universalité de la théorie de Newton (1687, Principia Mathematica) à toutes les échelles du monde physique.

La force de répulsion électrique qui s'applique entre deux charges électriques est inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

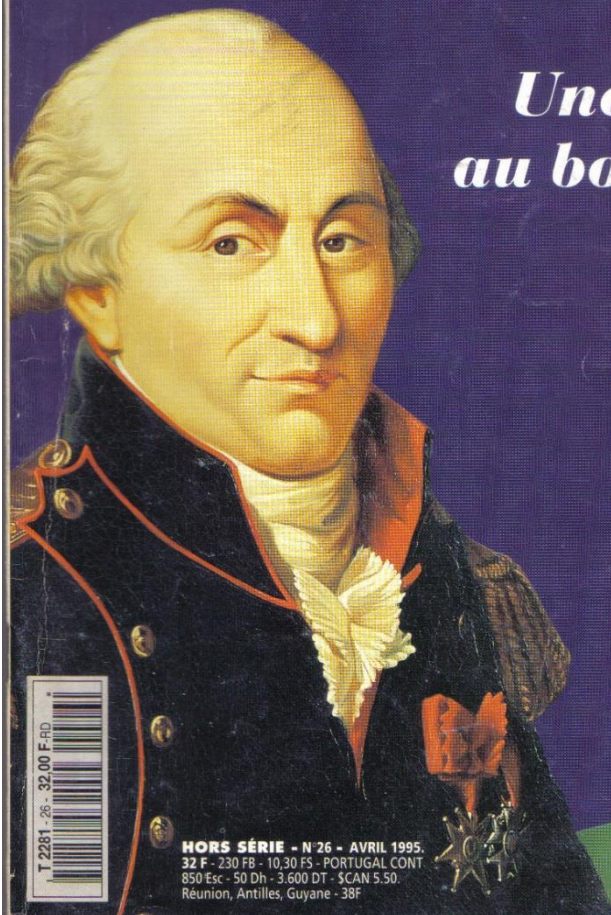
ISSN 1157-4887

LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE

LES GRANDES EXPERIENCES DE LA PHYSIQUE

LA MESURE DE LA FORCE ÉLECTRIQUE

*Une énigme
au bout d'un fil*



HORS SÉRIE - N°26 - AVRIL 1995.
32 F - 230 FB - 10,30 FS - PORTUGAL CONT
850 Esc - 50 Dh - 3.600 DT - \$CAN 5.50.
Réunion, Antilles, Guyane - 38F

La balance de Coulomb (1785)

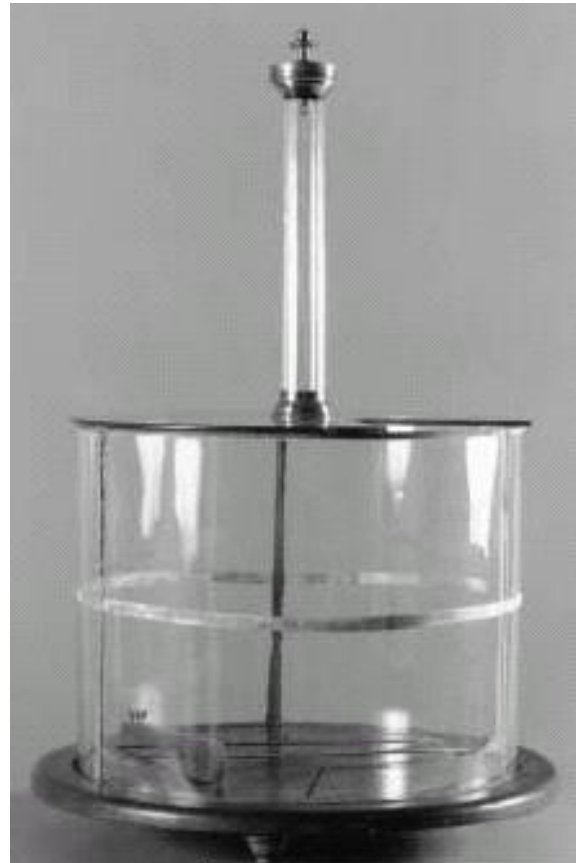
Les cahiers de science et vie: La mesure de la force électrique (Avril 1995)

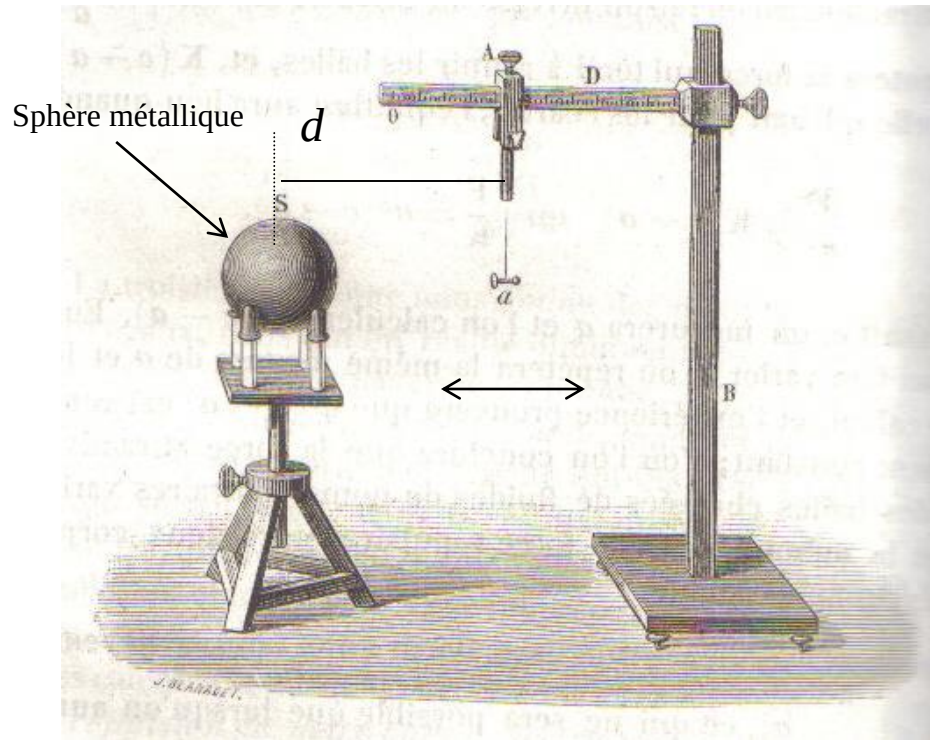
- Permet de **mesurer** la force électrique entre deux charges électriques.
- Mesure de la torsion d'un fil d'argent; charge portée par des boules de sureau (conducteur).
- Cette force décroît en **raison de l'inverse du carré de la distance** qui sépare ces deux charges; dans cette expérience elle est équivalente à un poids de **quelques millièmes de gramme** !

Une expérience étonnante

Un physicien allemand a récemment tenté de répliquer la balance: plus de six mois furent nécessaires pour obtenir des résultats admissibles. Alors qu'aujourd'hui, la valeur générale d'une loi repose sur un très grand nombre de mesures, il faut noter que Colomb a convaincu avec seulement trois mesures.

Si les lois électriques et magnétiques sont aujourd'hui parfaitement admises, il n'est pas sans importance de constater que nous ne savons rien sur la façon dont Coulomb y est parvenu, et que la simple réplication de cette balance fait naître bon nombre de questions sur les conditions de la pratique scientifique au XVIII^e siècle.



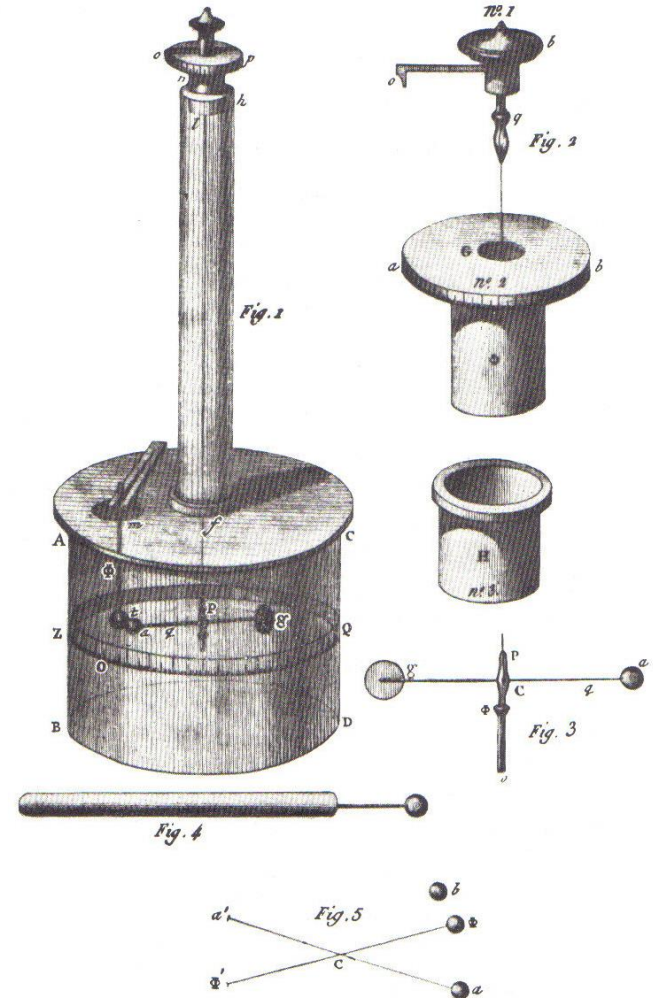


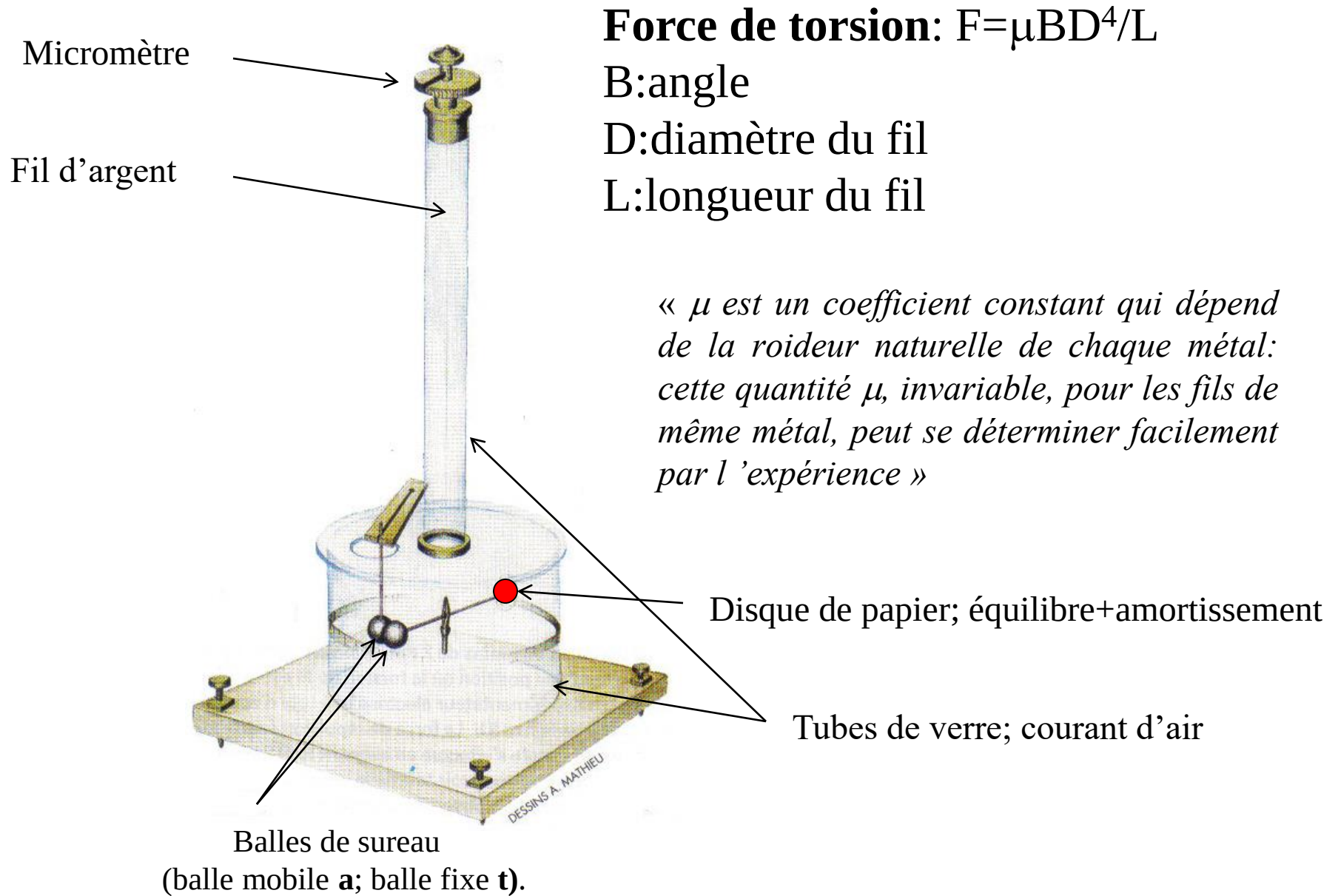
Méthode des oscillations

$$T = n\pi\sqrt{\frac{I}{Fl}}$$

$$\frac{T^2}{T'^2} = \frac{F'}{F}$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{d^2}{d'^2}$$

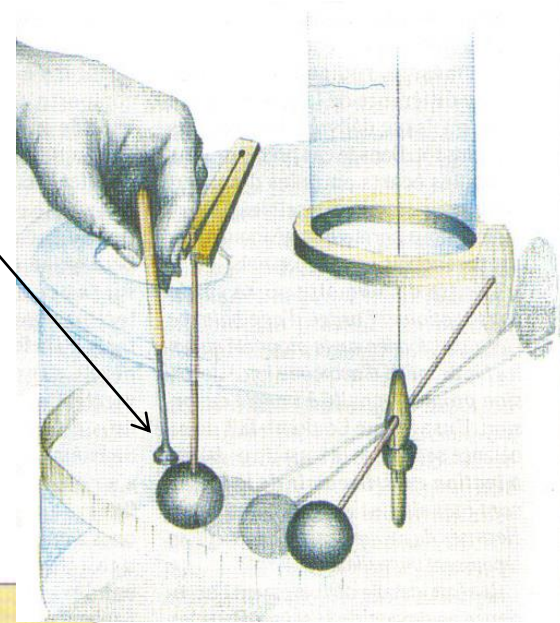




« **Premier essai.** - Ayant électrisé les deux balles avec la tête d'épingle, l'index du micromètre répondant à 0, la balle **a** de l'aiguille s'est éloignée de la balle **t** de 36° .

Deuxième essai. - Ayant tordu le fil de suspension au moyen du bouton du micromètre de 126° , les deux balles se sont rapprochées et arrêtées à 18° de distance l'une de l'autre.

Troisième essai. - Ayant tordu le fil de suspension de 597° , les deux balles se sont rapprochées à $8^\circ 30'$. »



EN RAISON INVERSE DU CARRÉ DES DISTANCES...

Coulomb commence par observer que le bras mobile se stabilise à un angle de 36° : la force électrique de répulsion équilibre la force de torsion. Tant que le seuil d'élasticité n'est pas dépassé, cette dernière est proportionnelle à l'angle de torsion (ici, 36°). Pour atteindre la deuxième position d'équilibre, Coulomb tourne son micromètre d'un angle de 126° . Pourquoi ? Parce qu'il veut ensuite observer un angle entre les deux balles de 18° (la moitié de 36). Or, quel est l'angle de torsion du fil à cet instant ? Il est égal à $126 +$

$18 = 144^\circ$. Et il est aisé de remarquer que $144 = 36 \times 4$! Pour un angle entre les balles divisé par deux, la force (ou l'angle de torsion, c'est ici la même chose) est donc quadruple. Lors de sa troisième mesure, Coulomb tourne le micromètre de 567° et le bras atteint un angle de $8,5^\circ$, « très proche » de 9° . L'angle total de torsion est ainsi de $567 + 9 = 576$ et, comme auparavant, 576 est bien le quadruple de l'angle précédent ($144 \times 4 = 576$). La force de répulsion varie en raison inverse du carré des distances...



La découverte de l'électricité animale (1786)

Luigi Galvani (1737-1798)

- Galvani, Luigi (1737-1798), médecin et physicien italien, célèbre pour ses études sur l'activité électrique des nerfs et des muscles des animaux.
- Professeur d'anatomie à l'université de Bologne.
- Recherches sur l'anatomie comparée des oiseaux, en particulier sur leur système rénal et leurs organes auditifs.
- En 1786, son laboratoire est le théâtre d'une découverte aussi **fortuite que fondamentale** :

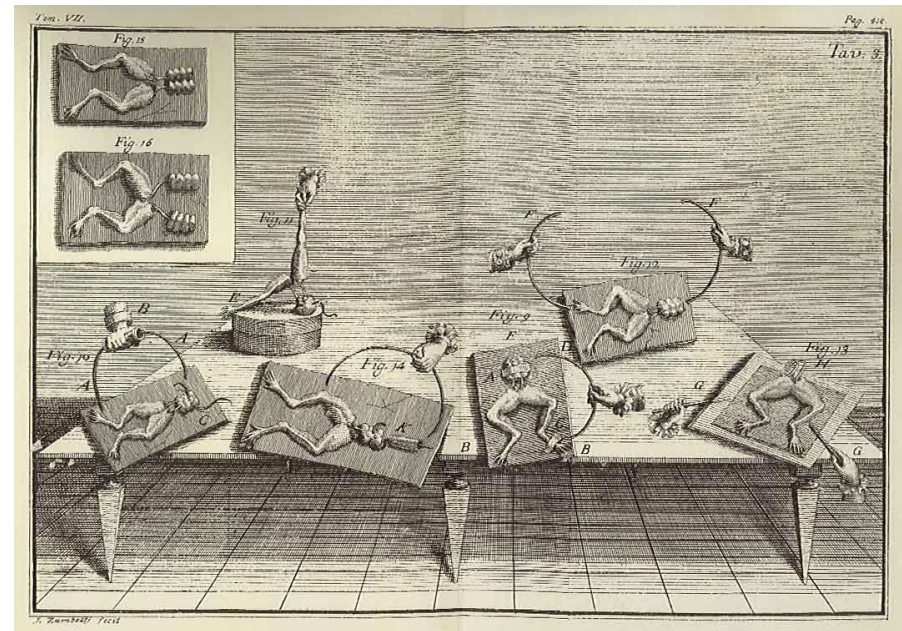
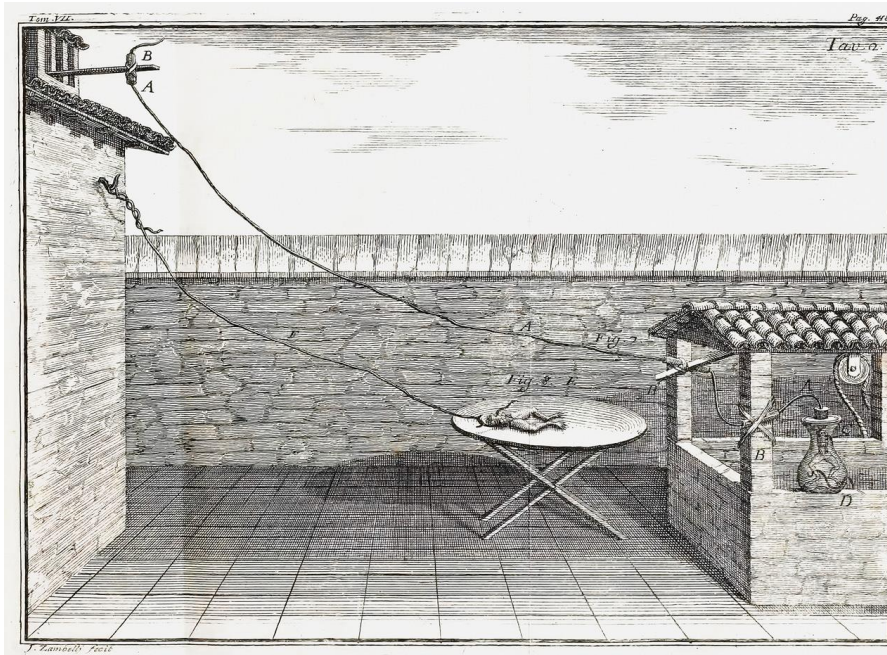
le contact d'un scalpel avec une grenouille écorchée qui se trouve, par hasard, à proximité d'une de ses machines électriques, provoque la contraction des muscles de l'animal.

- Galvani se lance alors dans une série d'expériences sur l'excitabilité des muscles et la stimulation électrique des contractions musculaires et, en 1791, élabore sa théorie selon laquelle les nerfs et les muscles sont le siège d'une « **électricité animale** » et sont parcourus de courants contraires.
- Son nom est aujourd'hui associé à l'électricité:
on le retrouve dans les mots: **galvanisme**, **galvanisation** ou encore **galvanomètre**.



La découverte de l'électricité animale (1786)

Luigi Galvani (1737-1798)



En 1800 la pile de **Volta** (1745-1827)

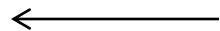


Médaille d'or
de l'institut



Empilement de disques en cuivre et en zinc
séparés par du carton imbibé d'eau salée

(application: mouvement convulsif des nerfs et des muscles vivants)



Version moderne

Persuadé que le simple contact entre une rondelle d'argent et une rondelle de zinc va produire de l'électricité, Volta se dit qu'en empilant un certain nombre de tels couples, **il en multipliera les effets**. Mais pour que le contact entre couples successifs soit meilleur, il interpose une rondelle de drap mouillé d'eau salée...

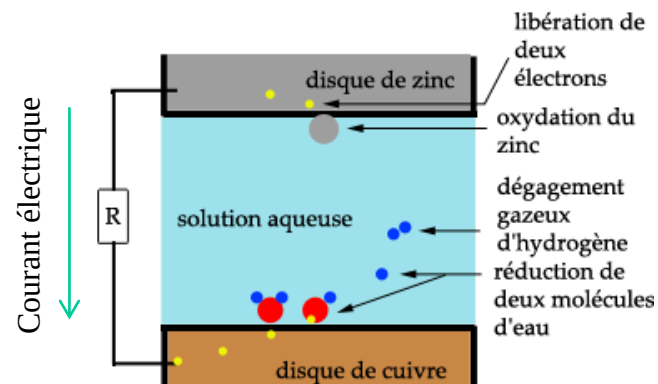
Voici donc l'ordre de l'empilement, à partir du bas: argent, zinc, drap mouillé, argent, zinc, drap mouillé, argent, ..., zinc, drap mouillé, argent, zinc.

Et cela fonctionne!

Cela fonctionne, bien entendu, parce que chaque sandwich « zinc-drap mouillé-argent » produit de l'électricité. Quant aux deux rondelles terminales, elles ne servent à rien.

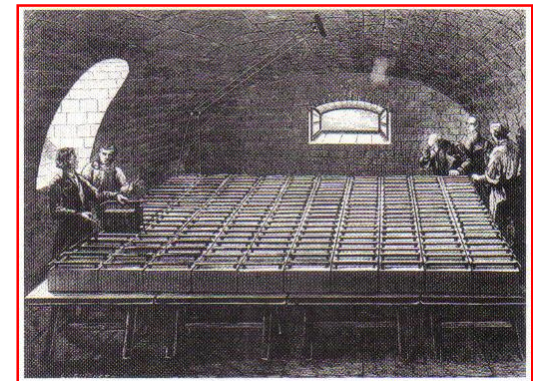
Réaction d'oxydo-réduction

- Oxydation: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$
- Réduction: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{HO}^- + \text{H}_2$

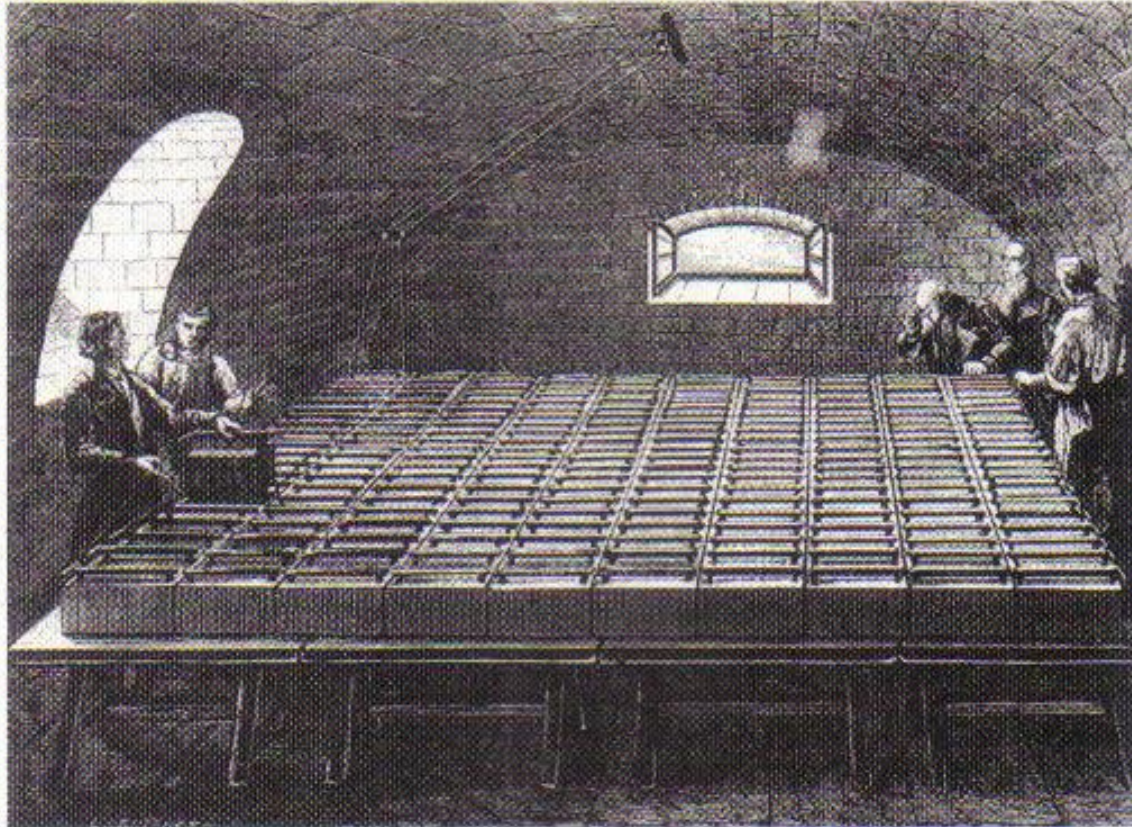


Sir Humphry Davy (1778-1829)

- Au cours des premières années passées à l'Institut (Royal Institution), **Davy** commence ses recherches sur les effets de l'électricité sur les composés chimiques.
- Il construit alors la plus grande batterie jamais fabriquée, avec plus de deux cent cinquante cellules, et fait passer un courant électrique de haute intensité dans des solutions de divers composés où il soupçonne la présence d'éléments inconnus.
- **Davy** isole rapidement le **potassium** et le sodium par cette méthode **d'électrolyse**.

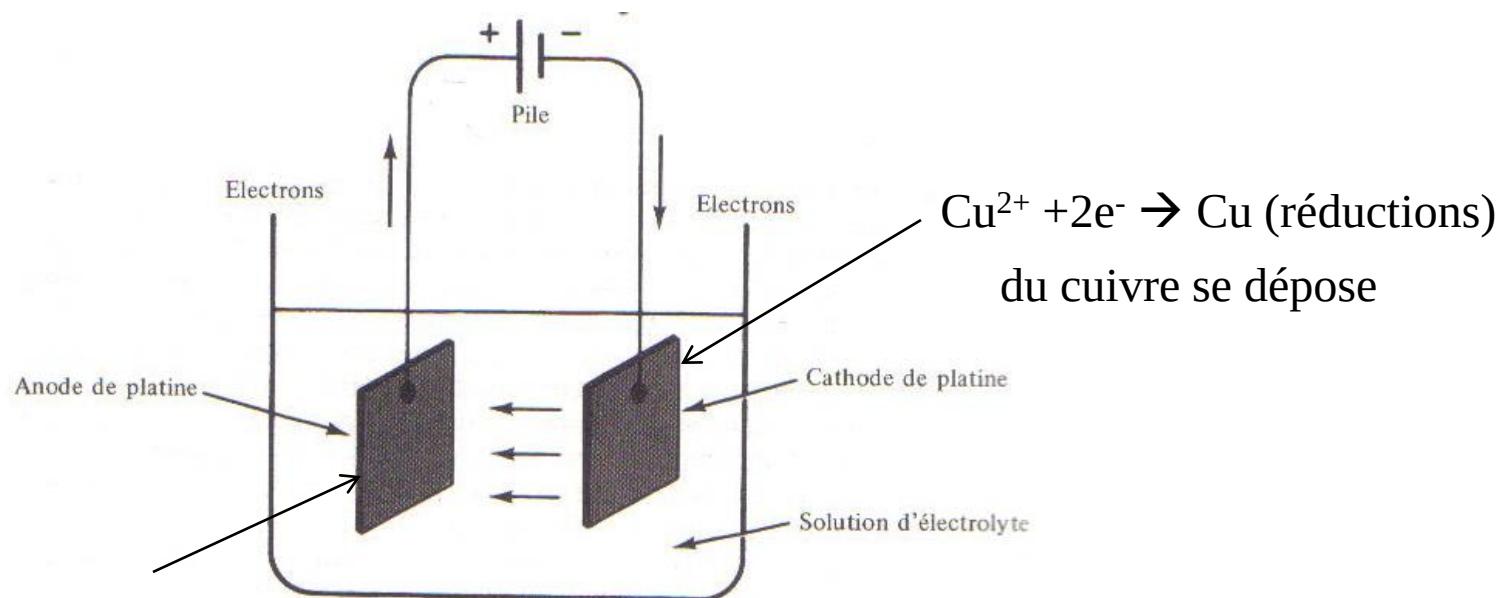


La batterie de **Davy**



Principe de l'électrolyse

CuCl_2 : électrolyte $\rightarrow \text{Cu}^{2+}$ et Cl^-



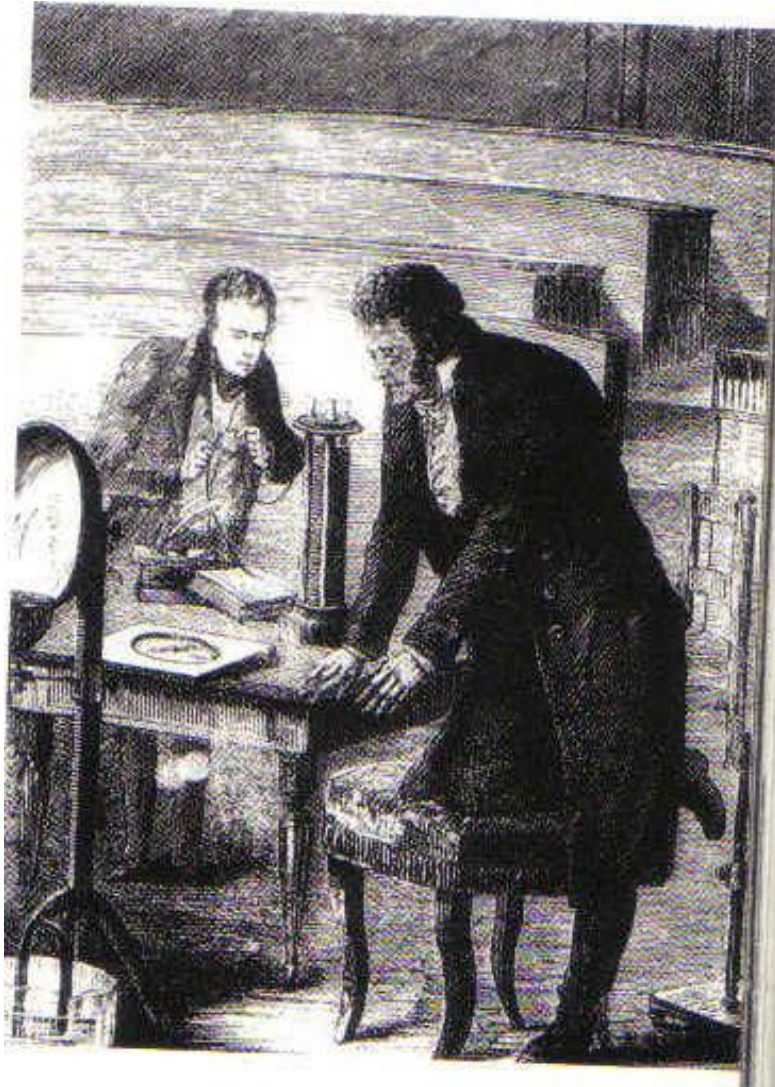
$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ (oxydations)

Chlore gazeux est produit

Lois de **Faraday** (1832)

Hans Christian Oersted (1820)

Un courant est capable de faire dévier une aiguille aimantée !



- Expérience **fondatrice** de l'électromagnétisme
- Avant, le magnétisme et l'électricité étaient considérés comme **totalelement indépendants**
- Porte en germe tous les moteurs électriques, les générateurs...
- Observation **fondamentale** pour le développement de l'électromagnétisme (**Faraday, Maxwell**)

EXPERIMENTA CIRCA EFFECTUM, etc. *Expériences sur l'effet du conflict électrique sur l'aiguille aimantée.*

PAR M^r J. CHR. OERSTED,

Professeur de physique dans l'Université de Copenhague.

(Traduction.) (1)

Les premières expériences sur l'objet que j'entreprends d'éclaircir ont été faites dans les leçons que j'ai données, l'hiver dernier, sur l'électricité et le magnétisme. Elles ont montré en général que l'aiguille aimantée changeait de direction par l'influence de l'appareil voltaïque; et que cet effet avait lieu lorsque le circuit était formé, et

(1) Cet article, qui doit paraître dans le prochain Cahier de la *Bibliothèque universelle*, m'avait été communiqué, à Genève, par M. Pictet; depuis, plusieurs savans de Paris l'ont aussi reçu directement de l'auteur. Les lecteurs des *Annales* auront remarqué que nous n'accueillons pas, en général, trop à la légère, les annonces des découvertes extraordinaires, et jusqu'ici nous n'avons eu qu'à nous applaudir de cette réserve; mais à l'égard du Mémoire de M. OErsted, les résultats qu'il renferme, quelque singuliers qu'ils puissent paraître, sont accompagnés de trop de détails pour donner lieu à aucun soupçon d'erreur. J'ajouterai d'ailleurs que M. le professeur de La Rive, de Genève, qui a découvert lui-même des phénomènes extrêmement curieux avec les puissantes piles voltaïques qu'il possède, ayant bien voulu me permettre d'assister à la vérification qu'il a faite des expériences de M. OErsted devant MM. Prévost, Pictet,

non lorsqu'il était interrompu; procédé que des physiciens célèbres avaient vainement essayé il y a quelques années. Mais comme mes expériences avaient été faites avec un appareil peu énergique, et dont l'effet n'était pas aussi frappant que l'importance du fait à établir le méritait, j'invitai mon ami Esmarch, conseiller de justice de S. M., à se joindre à moi pour les répéter avec un appareil plus considérable. Nous eûmes encore pour associé et témoin M. le chevalier Vlengel, les savans MM. Hauch, Reinhardt, professeurs d'histoire naturelle, Jacobsen, professeur de médecine et très-habile chimiste, et Zeize, professeur de philosophie. J'ai fait aussi quelques expériences, à moi seul; et lorsqu'elles m'apprenaient quelque chose de nouveau, j'avais soin de les répéter en présence de ces hommes éminens dans la science.

de Saussure, Marcet, de Candolle, etc., j'ai pu me convaincre moi-même de l'exactitude des résultats principaux donnés par le savant Danois, savoir : 1° qu'un fil métallique en communication avec les deux poles de la pile agit sur l'aiguille aimantée; 2° que la nature de cette action dépend, sinon de la position de la pile, du moins de la direction dans laquelle les fluides positif et négatif se meuvent dans le fil conducteur, relativement aux poles de l'aiguille; 3° que si le fil conducteur est placé au-dessous de l'aiguille, il produira une déviation en sens inverse de celle qu'il occasionait quand il était au-dessus. M. de La Rive a fait les expériences, tantôt en tenant l'aiguille seule sous le récipient d'une machine pneumatique; tantôt en y plaçant à la fois l'aiguille et le fil conducteur : les résultats ont toujours été les mêmes. (A.)

André-Marie Ampère (1775-1836)

Entre 1820 et 1825 il montra que deux fils parcourus par des courants électriques agissaient l'un sur l'autre (attraction mécanique entre deux fils).

Père fondateur de **l'électrodynamique**, branche de la physique qui étudie les actions dynamiques entre les courants électriques.



Il remarqua que la valeur de la déviation d'un aimant pouvait être utilisée pour mesurer l'intensité du courant qui la produisait. C'est l'inventeur du **galvanomètre**.

Après → **Lorentz** (fin du XIX)

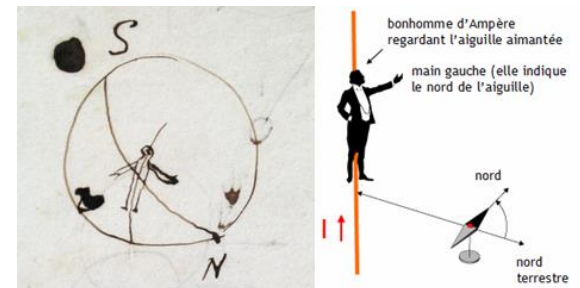
Il nous a laissé...

Le théorème d'Ampère

L'unité de courant électrique

Et ...

Le bonhomme d'Ampère



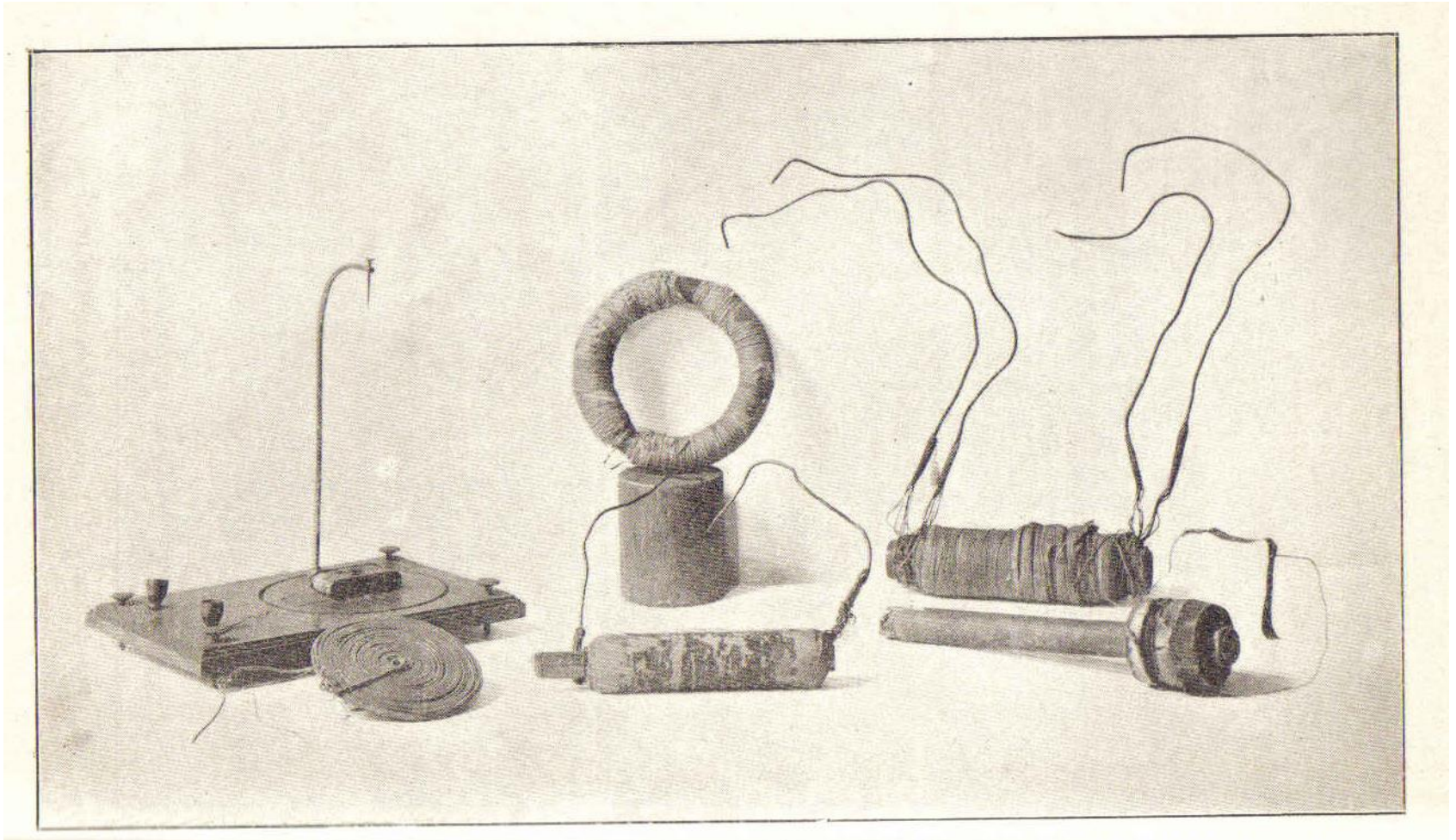
Michael Faraday (1831): Loi de l'induction

- En 1820 le premier des quatre **grands principes** avait été établi:
→ Un courant électrique produit un effet magnétique.
- Un aimant (magnétisme) ne doit-il pas produire un effet électrique ?
→ Recherches de Faraday .

➤ Il commence
comme assistant
de Davy



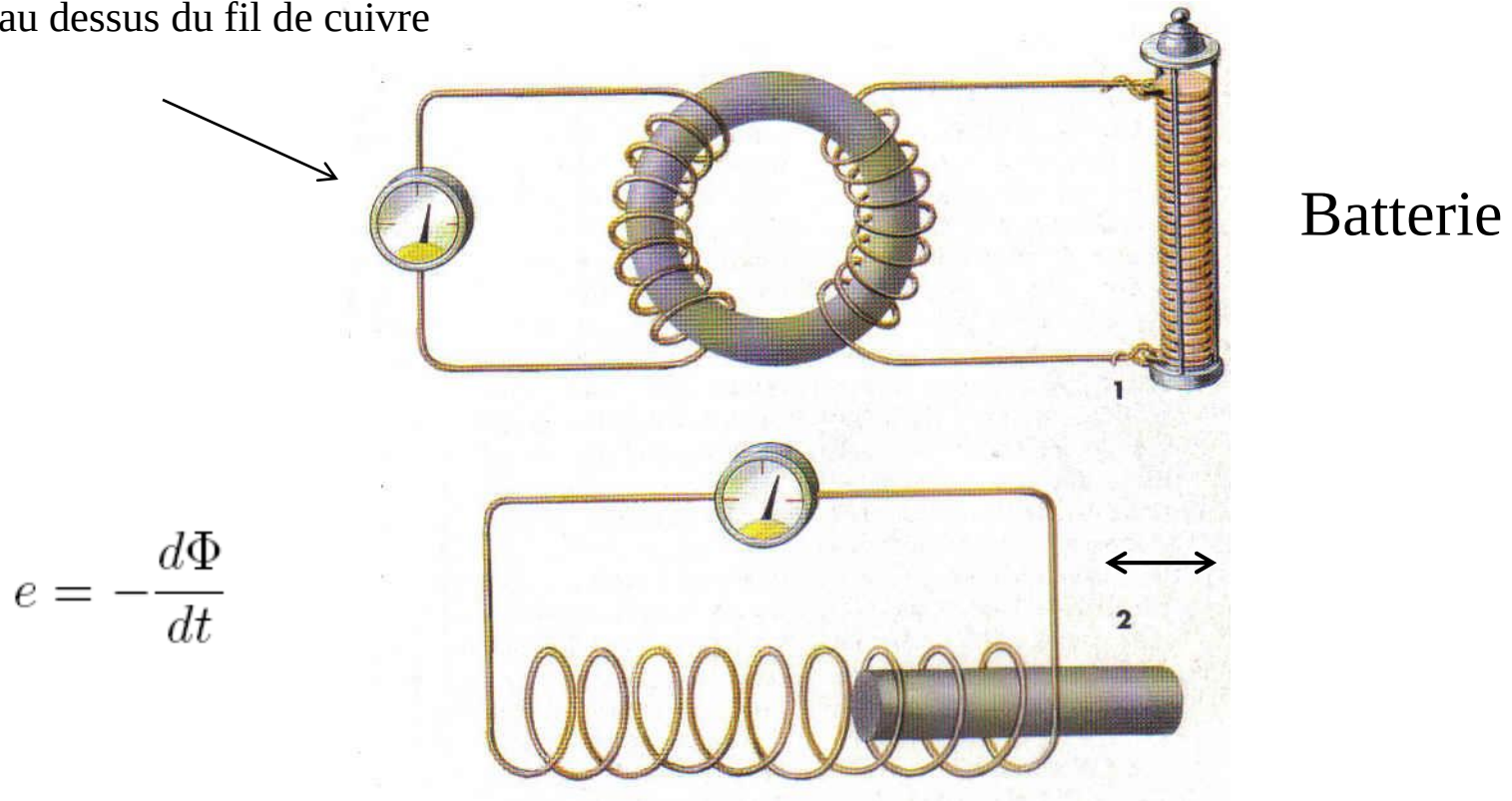
Appareils employés par **Faraday** pour ses expériences sur
l'induction magnétique



Principe de l'expérience de Faraday (29 août 1831)

Aiguille aimantée

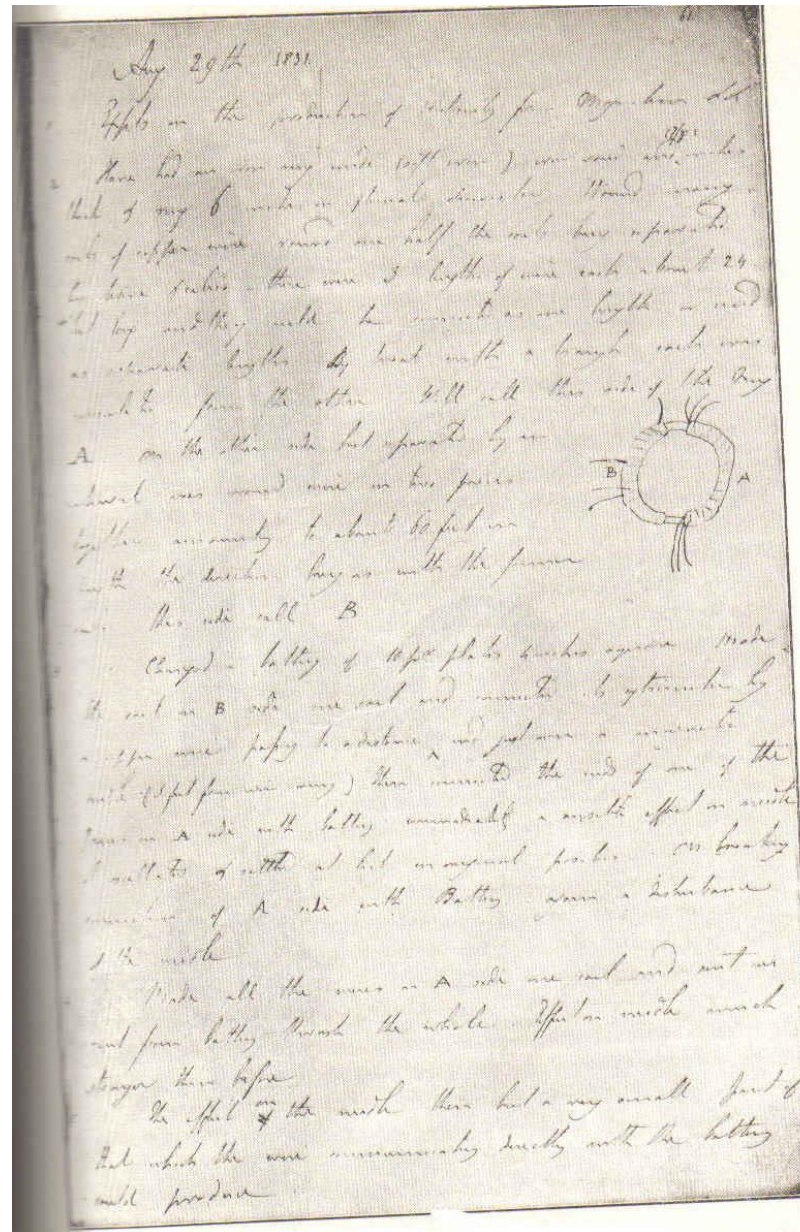
placée au dessus du fil de cuivre



$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

« Créer de l'électricité avec le magnétisme » M. Faraday

Page du journal de Faraday datée du 29 août 1831

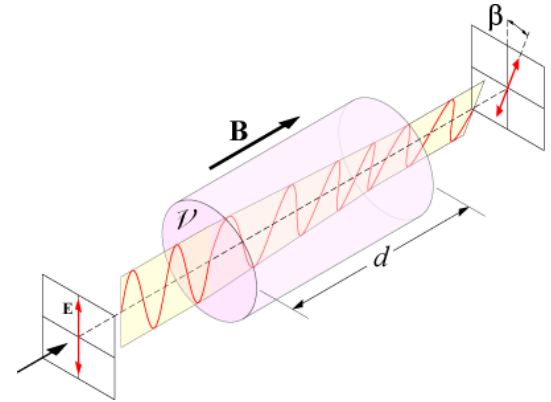


Un vulgarisateur de talent...
Les conférences de Noël pour les enfants



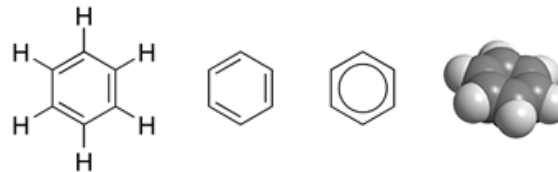
Il nous a laissé...

- ✓ La loi de l'induction
- ✓ Les lois sur l'électrolyse
- ✓ L'effet Faraday: effet magnéto-optique



- ✓ Une unité: le faraday = 96500 coulombs

- ✓ Il découvre le benzène



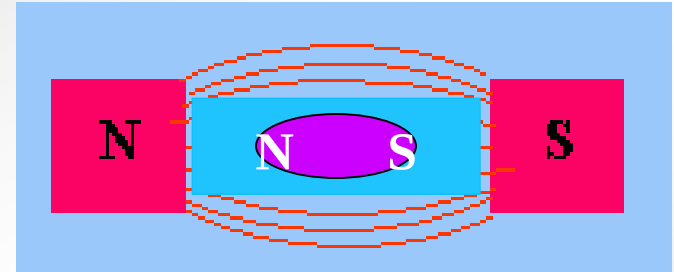
- ✓ La cage de Faraday: absence de champ électrique à l'intérieur d'un conducteur d'électricité



- ✓ Il découvre le *diamagnétisme* (corps repoussés par les aimants, benzène) et le *paramagnétisme* (attirés par les aimants, oxygène)

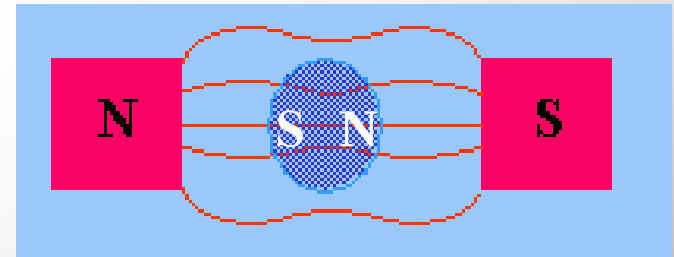
A - Le Diamagnétisme

La plupart des corps sont diamagnétiques. Ils sont repoussés par les aimants. C'est en général un effet très faible.



B - Le Paramagnétisme

Certains corps contenant des métaux comme: Fe, Ni, Co ... de façon diluée sont paramagnétiques. Ils sont attirés par les aimants.



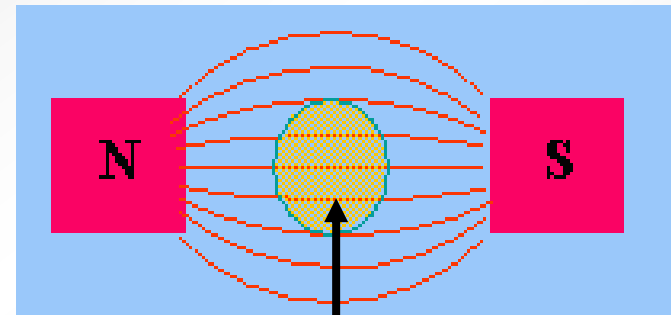
C - Le Ferromagnétisme

Certains métaux (Fe, Ni, Co, terres rares...et leurs alliages) sont très fortement attirés par les aimants (clous en Fe, épingles, ...). Ils restent aimantés en l'absence de champ extérieur. Ce sont des aimants permanents.

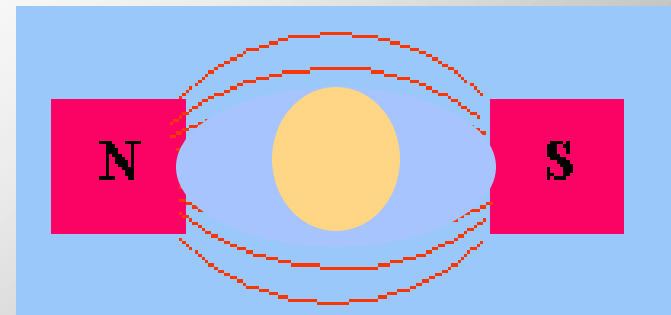
D - Les Supraconducteurs

Ex: Pb, Nb

Certains métaux à très basse température sont supraconducteurs. Ils sont très fortement repoussés par les aimants. Ce sont des **diamagnétiques parfaits**, qui excluent complètement le champ magnétique.



Pb à 4K

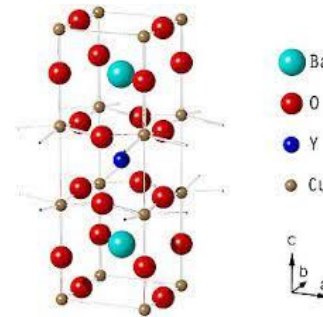


Coupe
exclusion des lignes
de champ magnétique

D - Les Supraconducteurs

les cuprates, une supraconductivité à une température anormalement élevée, -238°C .

YBaCuO



Bednorz et Müller les synthétisent et y font varier le nombre d'électrons en changeant les proportions de baryum et de lanthane systématiquement. Début 1986, ils découvrent que l'un de ces composés présente une supraconductivité à une température record. Ils publient leur découverte, en titrant avec prudence « Possible supraconductivité à haute température critique dans Ba-La-Cu-O » car ils n'ont pu mesurer l'effet Meissner (qu'ils mesureront en 1987).

Cette découverte ouvrit la voie à une excitation telle dans la communauté des physiciens qu'une des conférences survenue peu après fut surnommée le Woodstock de la physique ! Les deux physiciens reçoivent le prix Nobel en 1987, seulement un an après leur découverte, un autre record.

Paramagnétisme: Piégeage du dioxygène (O_2)



Avant **James Clerk Maxwell**

Dans le système de pensée de **Coulomb**, d'**Ampère**, de **Faraday** hérité de **Newton** on ne connaît que des forces exercées par un système matériel sur un autre (en comprenant dans la notion de « système matériel » la matière ou « fluide » électrique qui se montre capable d'exercer ou de subir de telles forces).

La notion de **CHAMP** (électrique ou magnétique) qui est abondamment utilisée (notamment chez **Faraday**) n'a pas d'autre signification que celle d'une **force virtuelle** qui ne devient réelle que quand et où un corps chargé, ou un aimant, ou un élément de courant électrique se trouve présent.

Le champ n'est à la limite qu'un intermédiaire de calcul commode ...

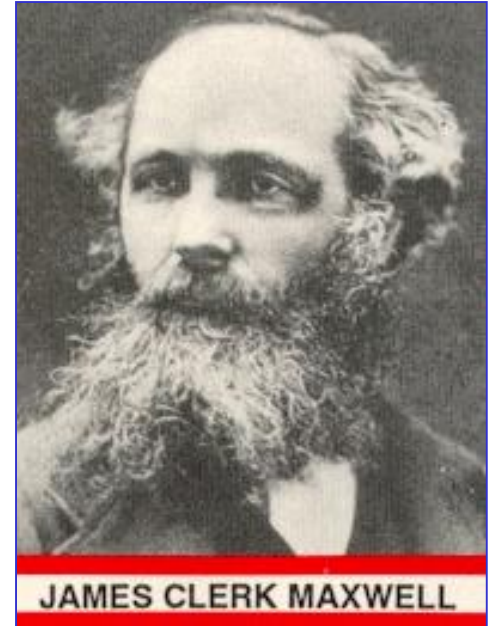
Problème (depuis **Newton**) de l'action instantanée à distance...

« ...Avec **J. Clerk Maxwell**, une nouvelle ère scientifique s'est ouverte... »

Albert Einstein

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \wedge \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \vec{\nabla} \wedge \vec{B} &= \mu_0 \vec{j} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

(1873)



« Imaginez son émotion lorsque les équations qu'il avait formulées lui révélèrent que les champs électromagnétiques se propagent sous forme d'ondes polarisées, et à la vitesse de la lumière ! Peu d'hommes au monde peuvent se vanter d'avoir eu une telle expérience. » **Albert Einstein**

Les équations de **Maxwell** dans le vide

L'objet des équations de **Maxwell** consiste à relier par des équations locales les **champs** $\vec{E}$ et $\vec{B}$ à leurs sources, les densités de charges et de courants ρ et $\vec{j}$ dans le cas général des régimes variables.

Dans le cas des régimes variables, les champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$ fortement couplés et forment une entité à laquelle on donne le nom de champ électromagnétique $\rightarrow F_{\mu\nu}$

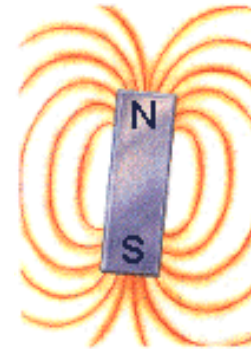
Les équations de **Maxwell** constituent l'expression même des lois fondamentales de l'électromagnétisme. C'est une formulation extrêmement concise, esthétique, compacte, élégante qui permet de décrire une vaste classe de phénomène incluant l'optique, la radioélectricité, les ondes guidées...

Le génie de Maxwell

Modélisation du milieu qui transmet les actions électromagnétiques

→ *Éther*

Lignes de forces du champ magnétique représentent en réalité le courant de quelque *chose qui coule*.



→ Fluide tourbillonnaire.

→ Vision mécaniste.

L'essentiel est la conception sous-jacente de la **causalité** qui attribue un rôle nécessaire à tout le « milieu » dans la transmission des actions électriques et magnétiques, et qui amène Maxwell à représenter ces actions comme s'exerçant exclusivement entre de petits domaines contigus, c'est-à-dire à tout ramener à des **interactions locales**.

→ Formulation en terme d'équations aux dérivées partielles.

→ On est conduit naturellement à l'idée d'une **vitesse finie de la propagation**.

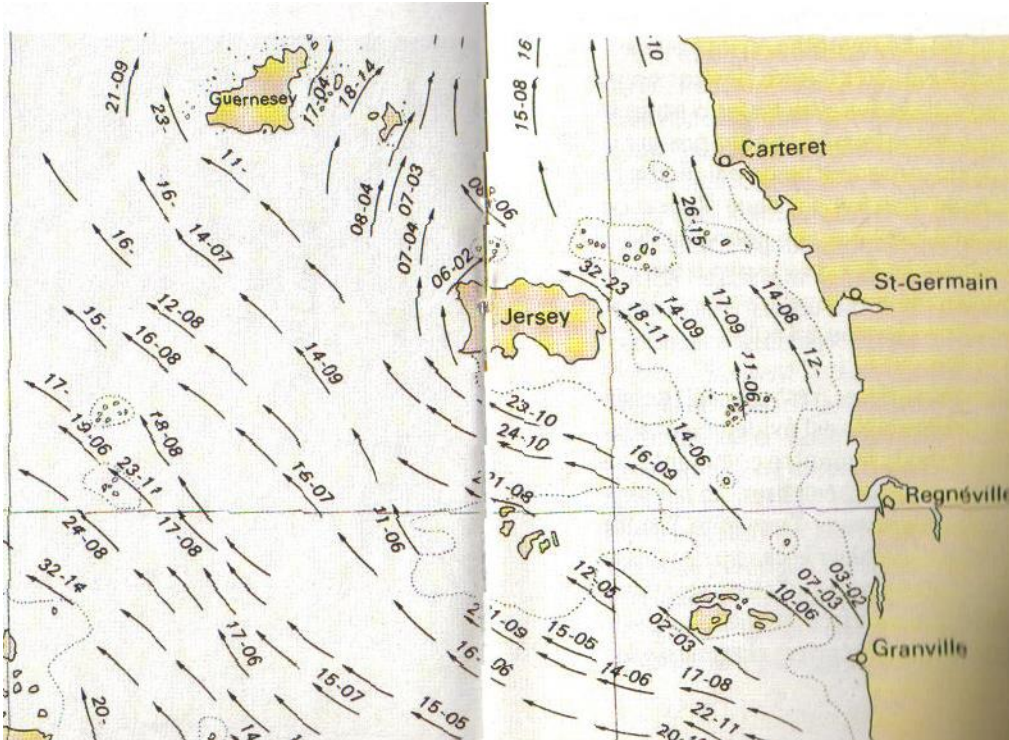
Chez Newton, l'espace (continu) qui sépare deux corps n'a aucune importance

Le concept de champ...

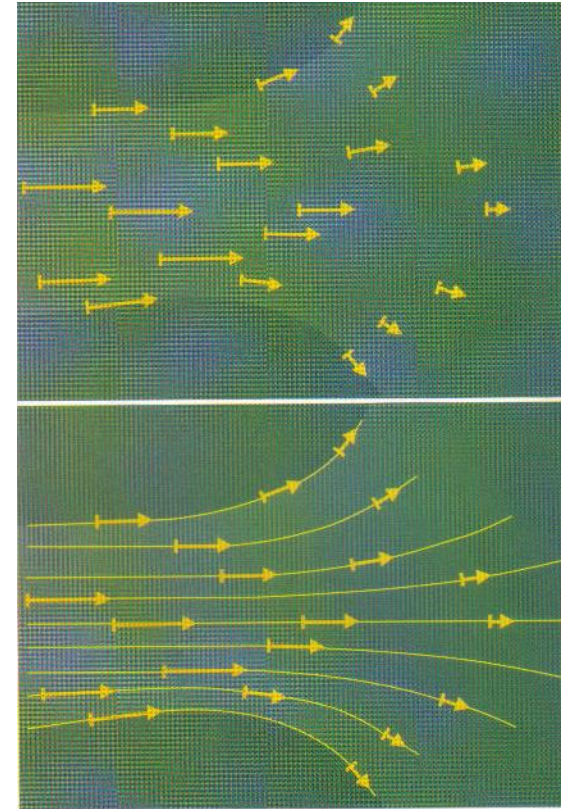


Pour mettre en évidence le champ magnétique créé par un aimant, on peut placer de la limaille de fer à proximité de ce dernier. Les parcelles métalliques se regroupent alors pour former des courbes correspondant aux lignes de champ. Plus les courbes sont proches, plus l'intensité du champ magnétique est grande.

Le concept de champ...

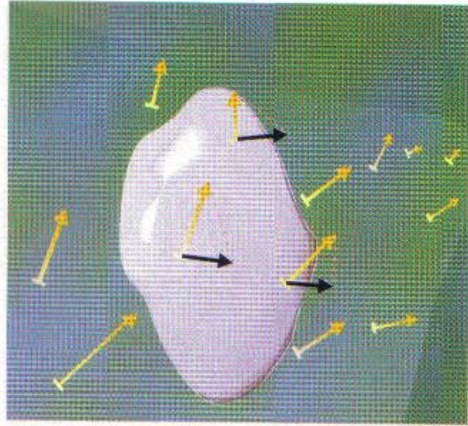


Carte des courants de marée

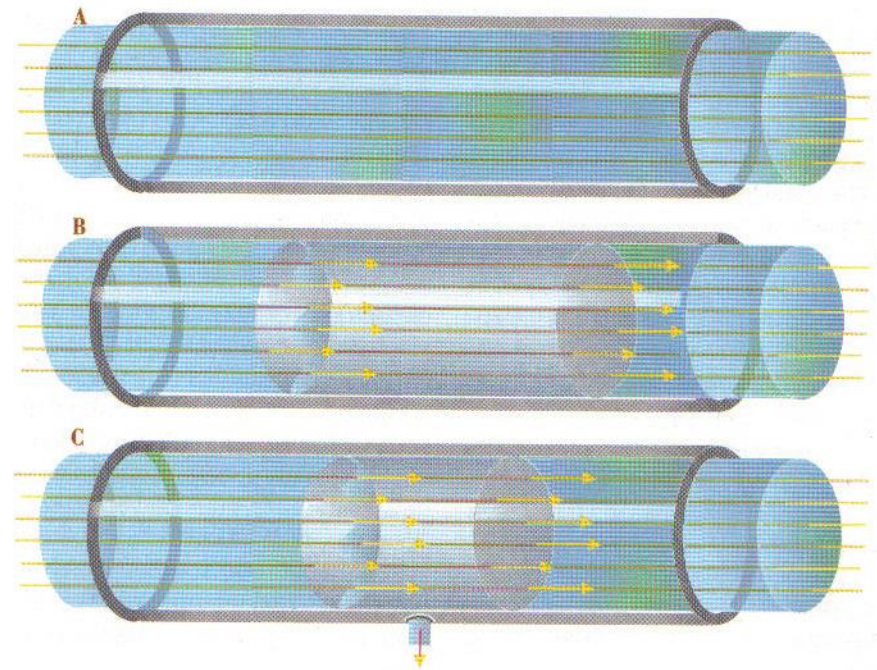


Champ de vecteurs

Maxwell donne naissance à un nouvel être de la physique mathématique:
Le champ vectoriel

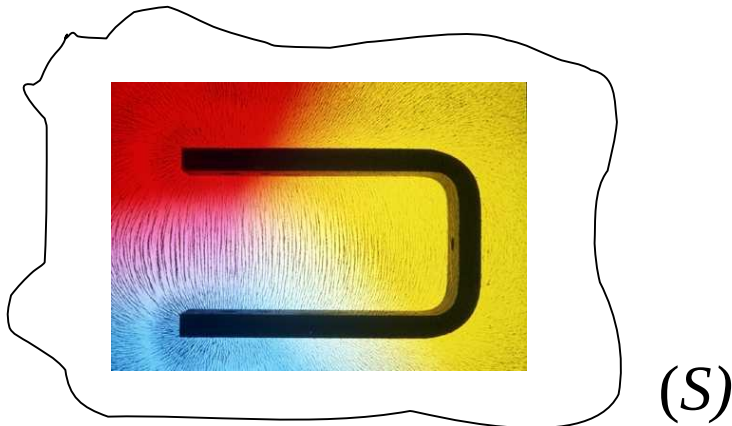


Notion de flux



Il y a une fuite ...

On sait que le champ $\vec{B}$ est un champ à *flux conservatif* (pas de monopôle magnétique; lignes de champ d'un aimant) d'où la relation intégrale suivante



$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int \int \int_V \nabla \cdot \vec{B} dV = 0$$

Juste pour la beauté du style ...

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} U) = \Delta U$$

$$\vec{\nabla} \wedge (\vec{\nabla} \wedge \vec{A}) = \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) - \Delta \vec{A}$$

$$\vec{\nabla} (UV) = U \vec{\nabla} V + V \vec{\nabla} U$$

$$\vec{\nabla} \cdot (U \vec{A}) = U (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) + (\vec{\nabla} U) \cdot \vec{A}$$

$$\vec{\nabla} \wedge (U \vec{A}) = U (\vec{\nabla} \wedge \vec{A}) + (\vec{\nabla} U) \wedge \vec{A}$$

$$\vec{\nabla} \wedge (\vec{A} \wedge \vec{B}) = (\vec{B} \cdot \vec{\nabla}) \vec{A} - (\vec{A} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B} + (\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) \vec{A} - (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) \vec{B}$$

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{A} \wedge \vec{B}) = \vec{B} \cdot (\vec{\nabla} \wedge \vec{A}) - \vec{A} \cdot (\vec{\nabla} \wedge \vec{B})$$

$$\vec{\nabla} (\vec{A} \cdot \vec{B}) = (\vec{A} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B} + (\vec{B} \cdot \vec{\nabla}) \vec{A} + \vec{A} \wedge (\vec{\nabla} \wedge \vec{B}) + \vec{B} \wedge (\vec{\nabla} \wedge \vec{A})$$



$$\oint_{\partial D} \omega = \int_D d\omega$$

George Gabriel Stokes (1819-1903))

Oliver Heaviside (1850-1925)



- ✓ Quaternions.
- ✓ Calcul symbolique: Fonction de **Heaviside**.
- ✓ Calcul opérationnel.

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Quelques années après la parution du traité de Maxwell en 1873, il simplifie les **20 équations en 20 variables** à **4 équations en 2 variables**:

→ c'est la *version moderne* des équations de **Maxwell**

Les expériences de **Hertz** (1888)

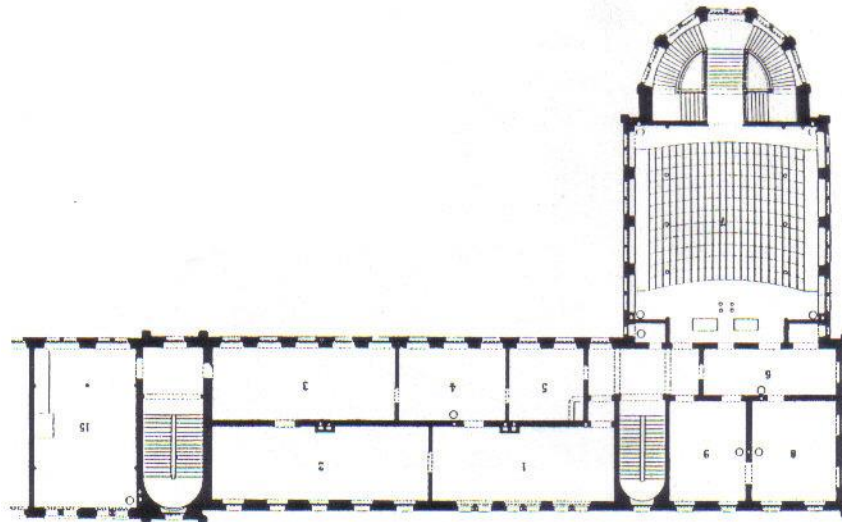
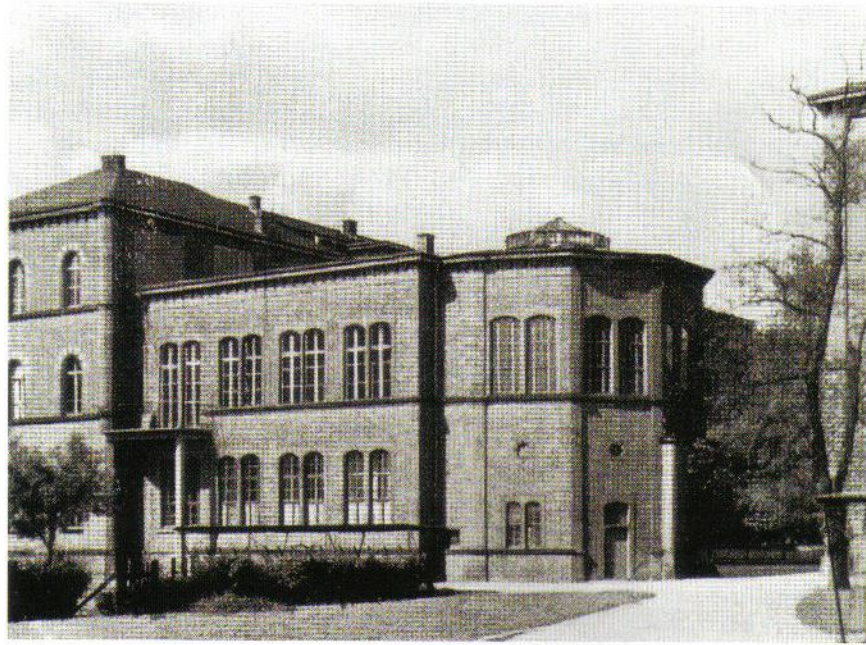
Lieu: Ecole supérieure technique de **Karlsruhe**
élève de **Hermann von Helmholtz** (Berlin)



« *La théorie de **Maxwell**, ce sont ses équations* »

✓ Il vérifie que les solutions des équations de **Maxwell** sont des **ondes**.

Ecole supérieure technique de Karlsruhe

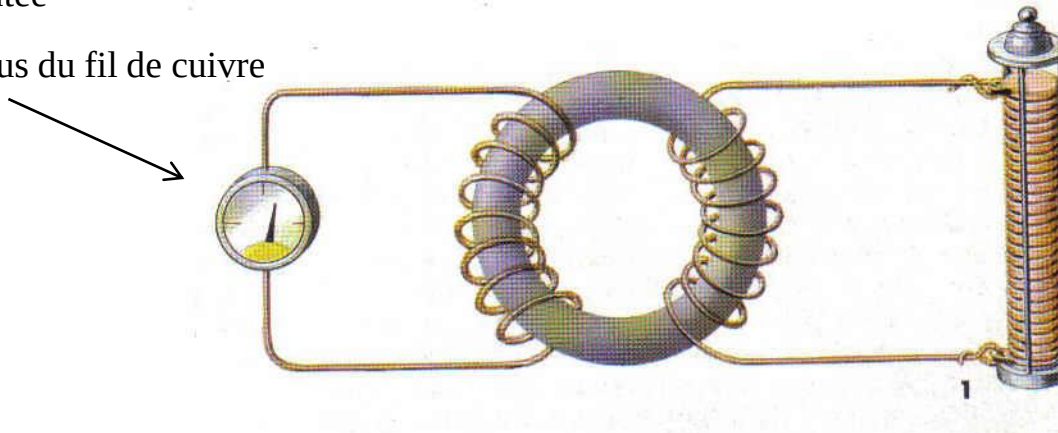


Retour sur ...

l'expérience de **Faraday** (29 août 1831)

Aiguille aimantée

placée au dessus du fil de cuivre



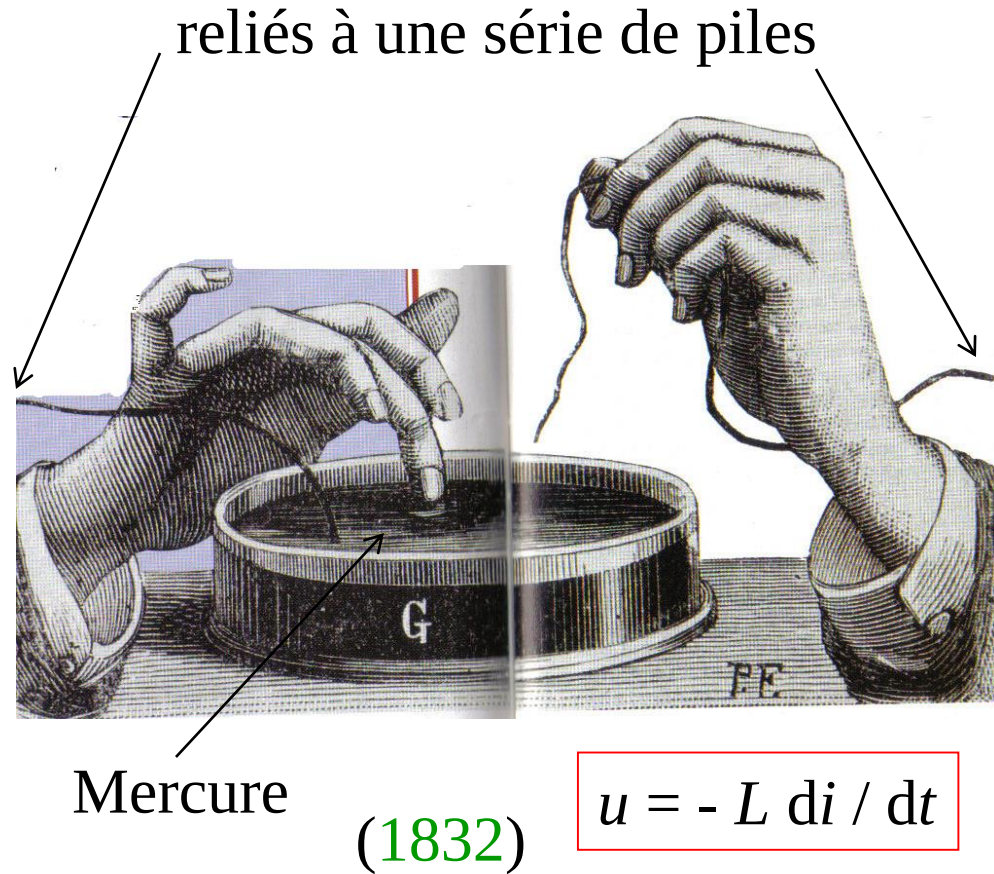
Batterie

Une variation de courant dans un circuit primaire induit un courant dans un circuit secondaire.

Joseph Henry



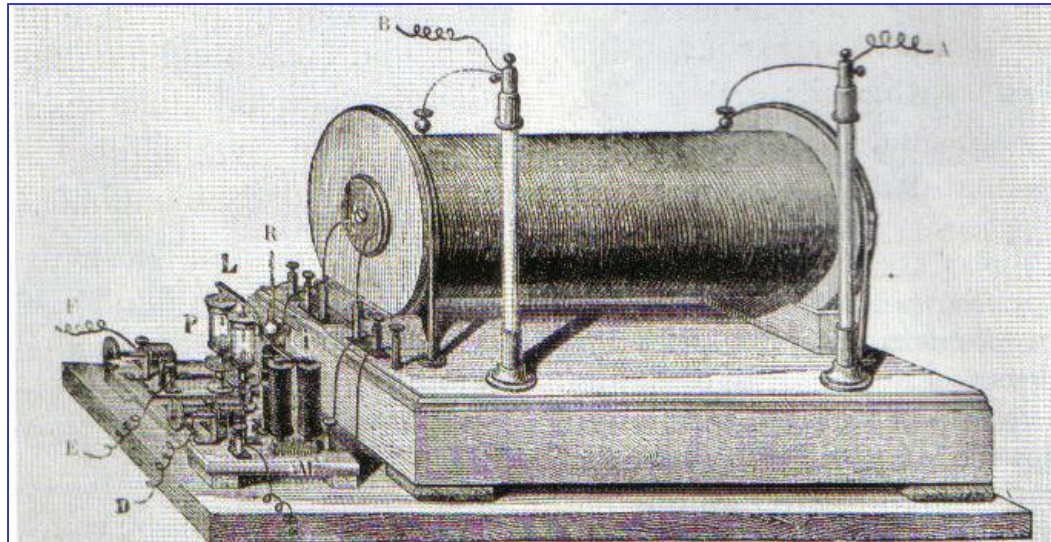
Auto-induction: L



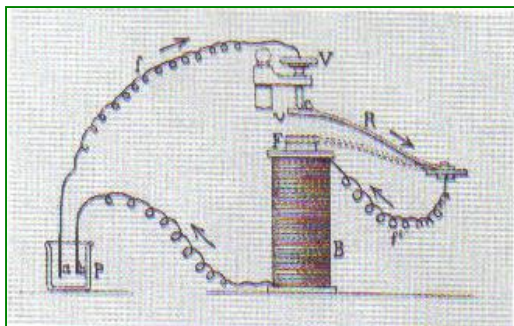
Une variation de courant dans un circuit unique produit un extra courant.

La bobine de **Ruhmkorff**
= la bobine d'induction (~1850)

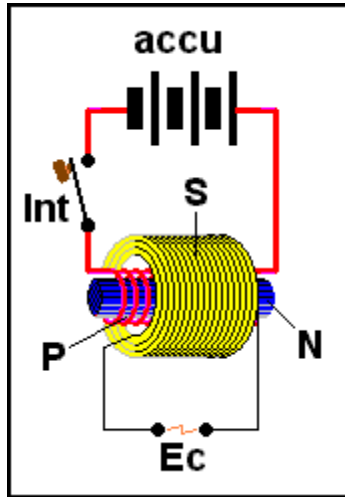
<https://www.youtube.com/watch?v=btpFGpmAV0s>



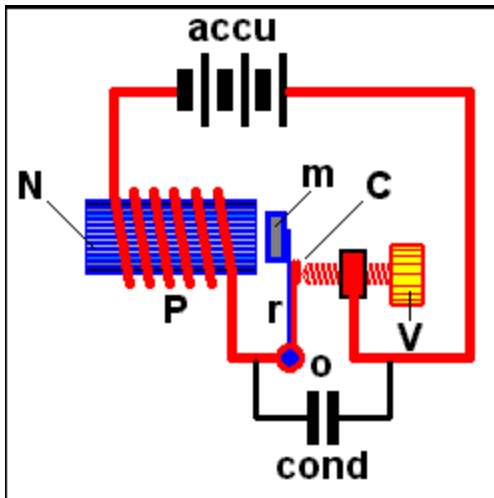
Principe des sonnettes électriques



Principe de fonctionnement

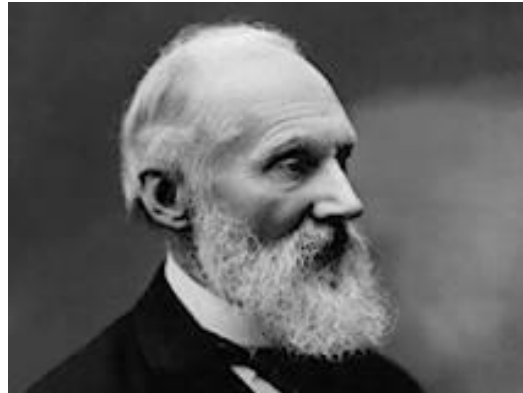


Transformateur
élevateur de tension



Le trembleur

La formation de l'étincelle se traduit par la production dans le circuit d'une série d'oscillations électriques amorties dont la période fut calculée en 1853 par **William Thomson**. Cette décharge oscillatoire s'accompagne de l'émission d'ondes électromagnétiques amorties.



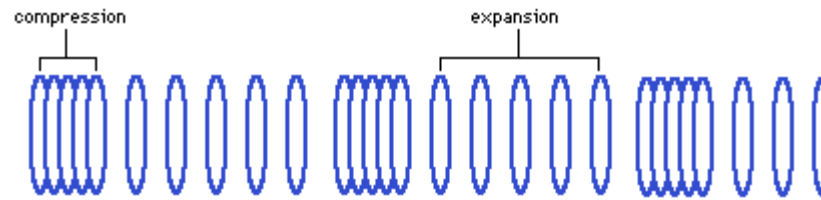
Lord **Kelvin**

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

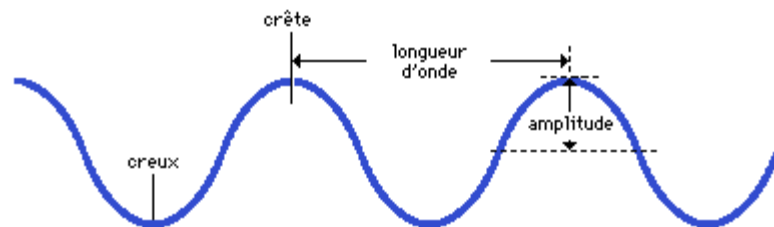
Expériences sur les expressions faciales (vers 1850)



Ondes

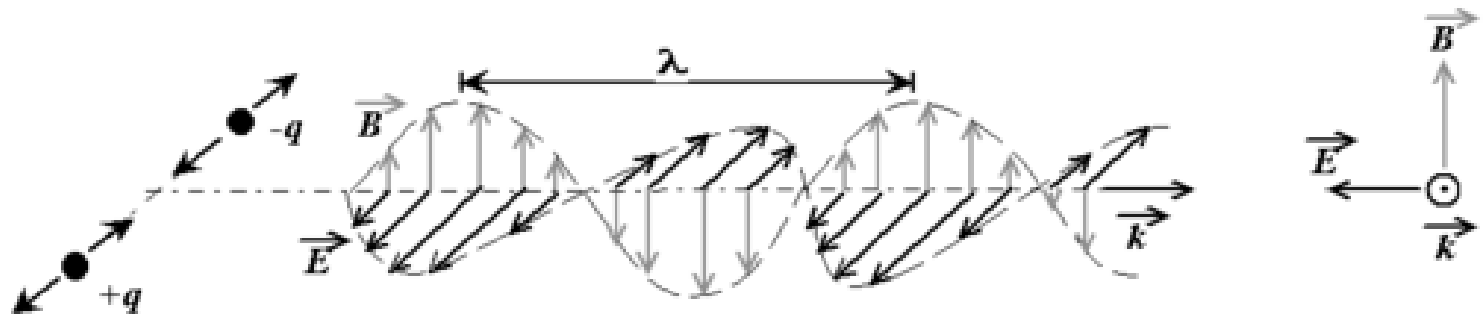


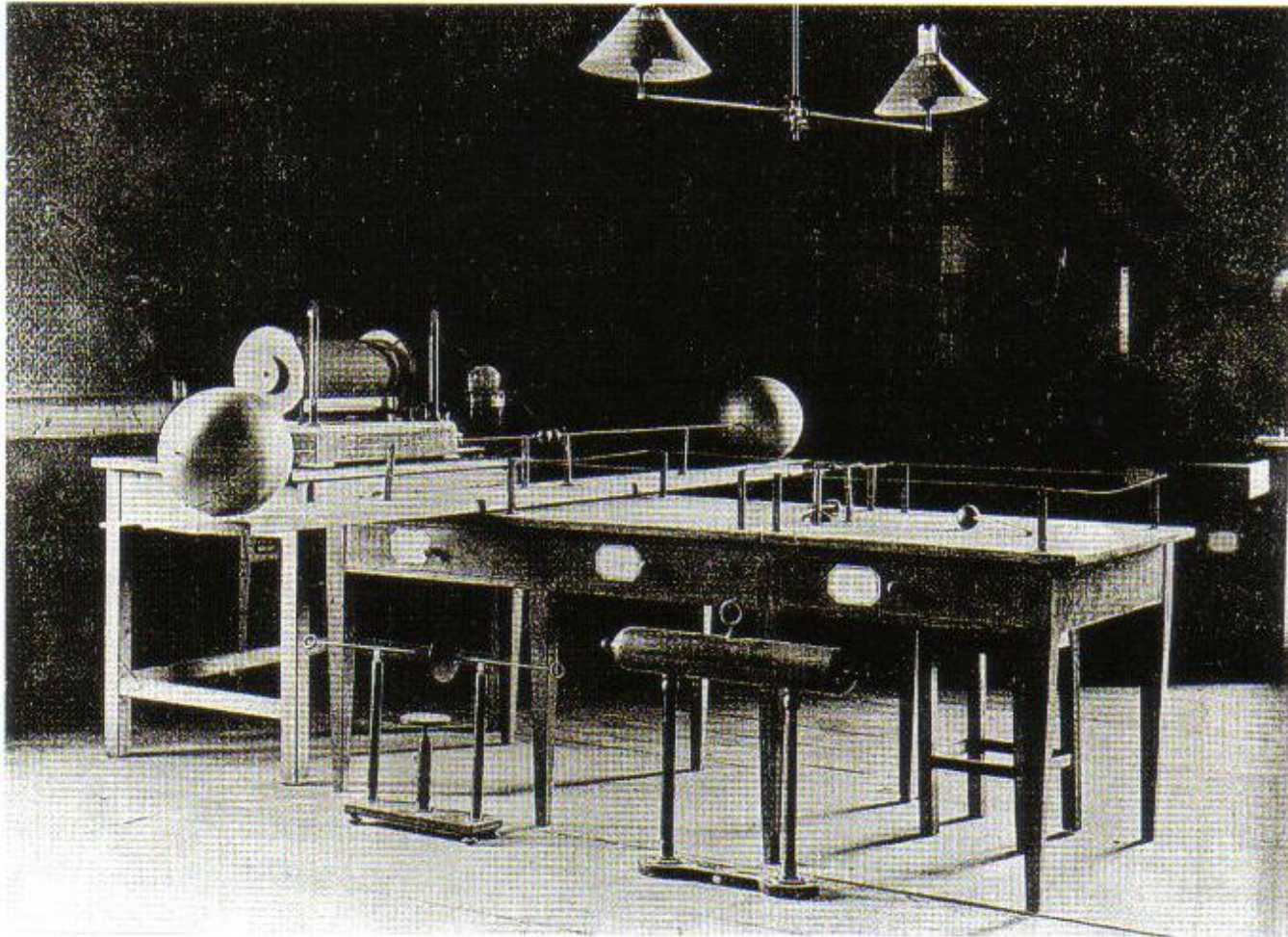
Onde longitudinale



Onde transversale

o.e.m





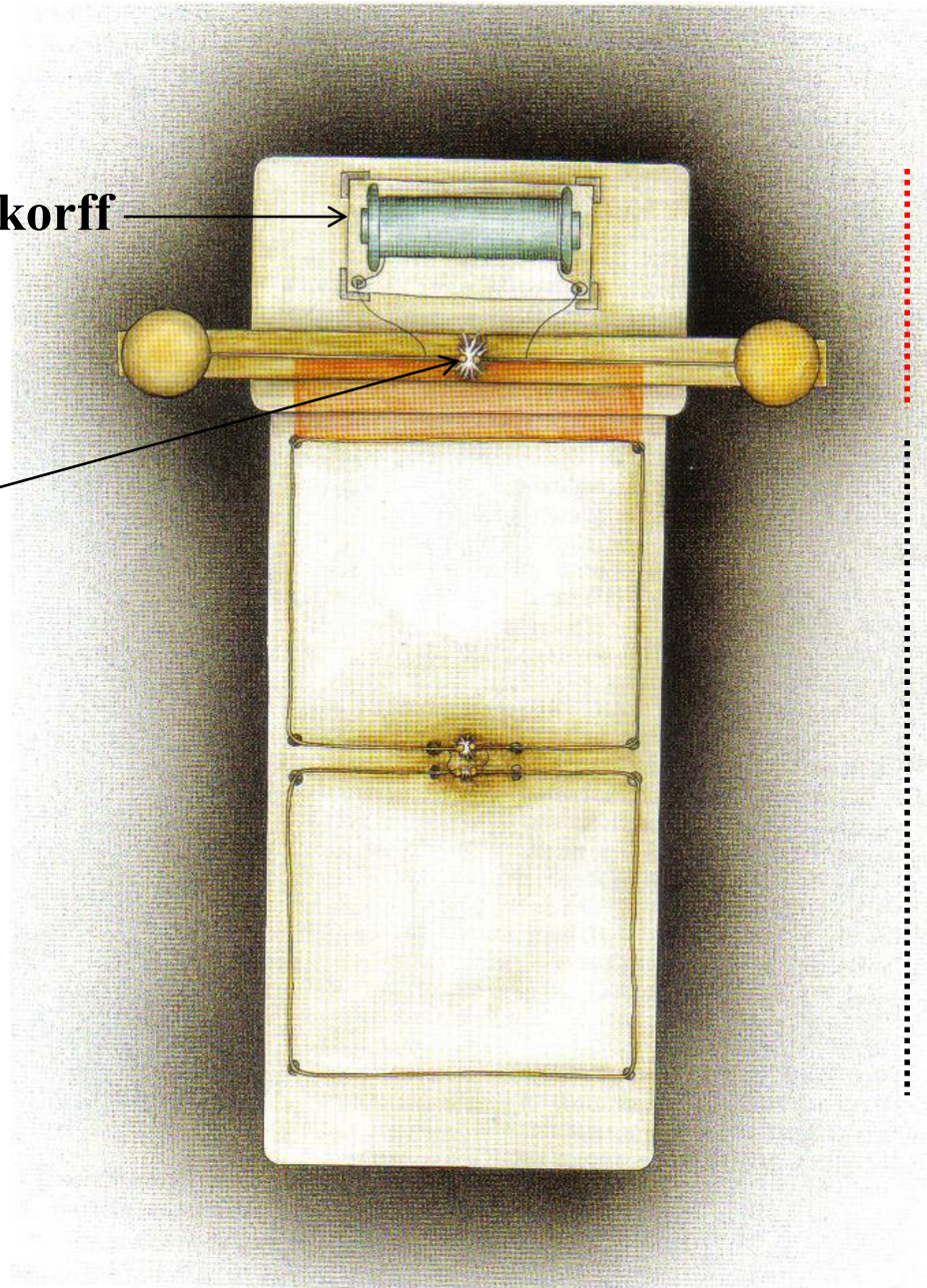
Deutsches Museum München

bobine de **Ruhmkorff**

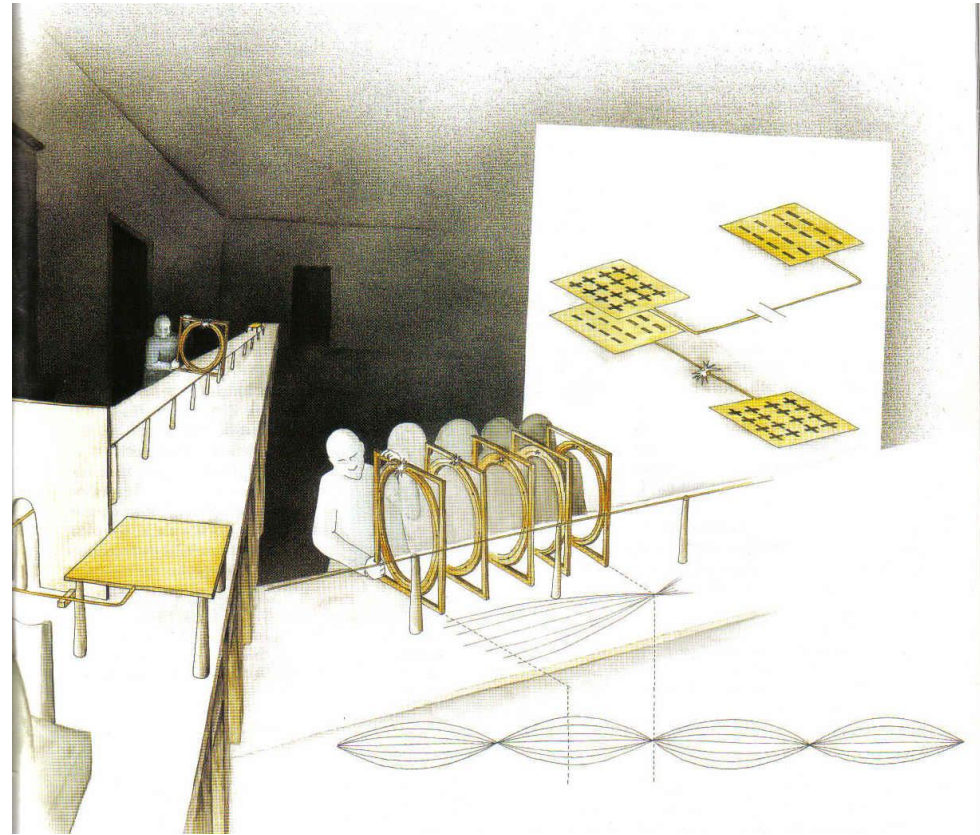
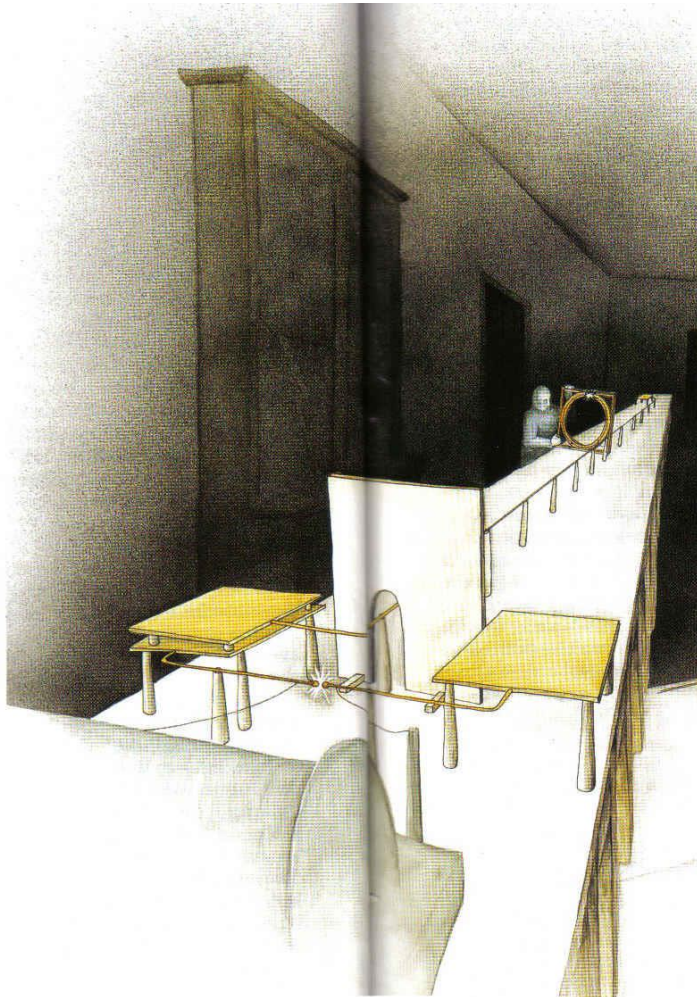
éclateur

oscillateur

résonateur



Les expériences de **Hertz** (1888)

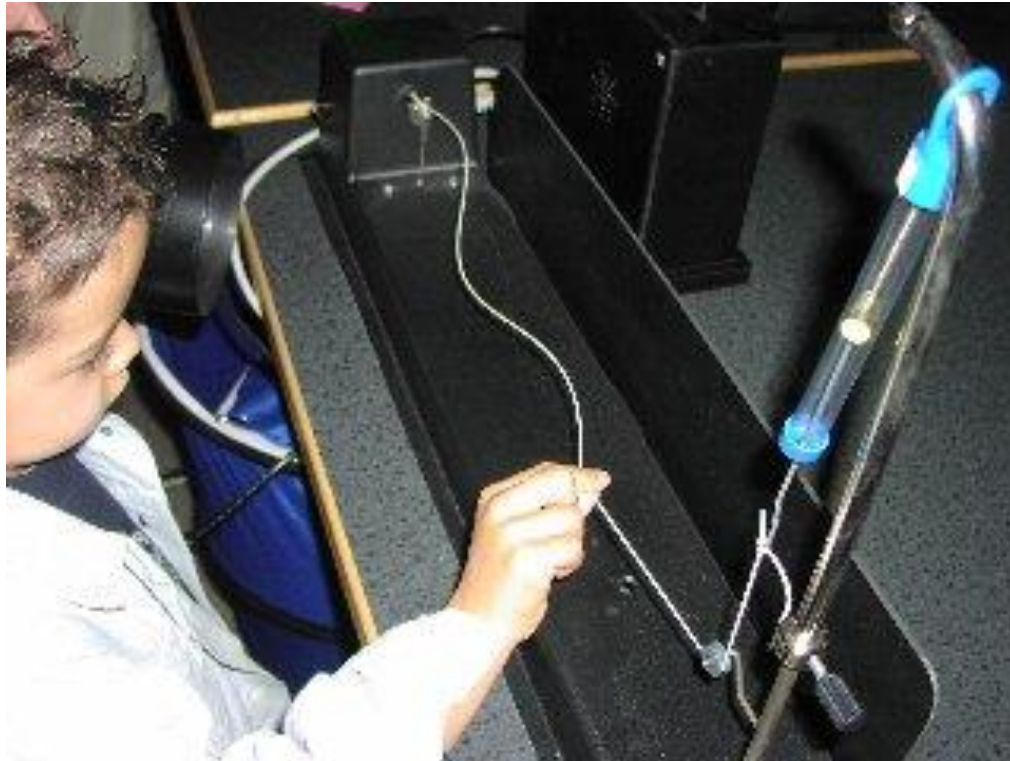


Ondes stationnaires dans des fils

« Presque aussi nettement que les nœuds d'une corde vibrante »

Corde vibrante: expérience de Melde

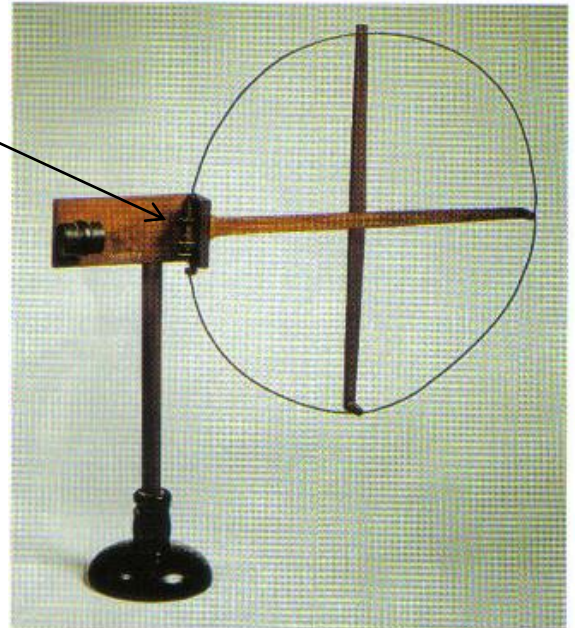
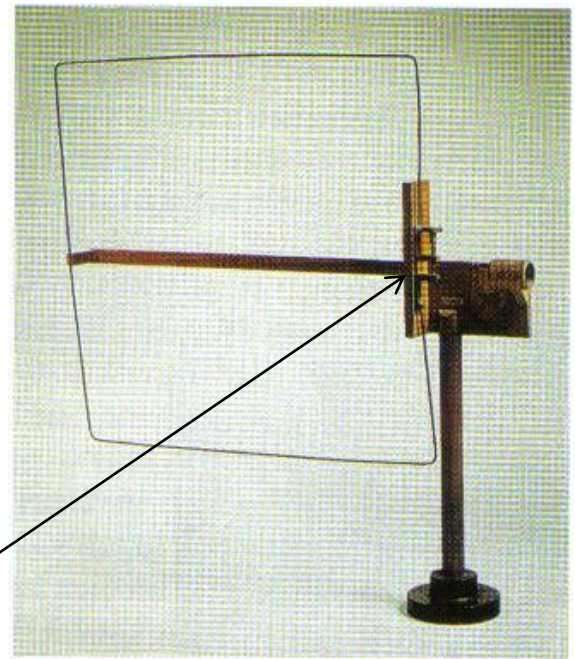
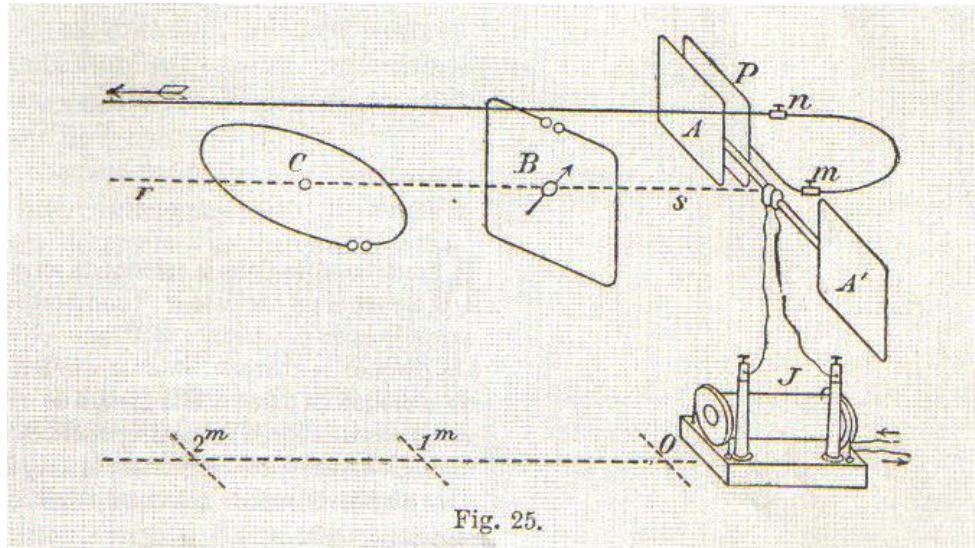
(ondes stationnaires; nœuds et ventres)



<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=corde+vibrante+ondes+stationnaires#fpstate=ive&vld=cid:bfda5cf7,vid:LG7eKsWB4DI,st:0>

Différents types de résonateurs

Micro éclateur

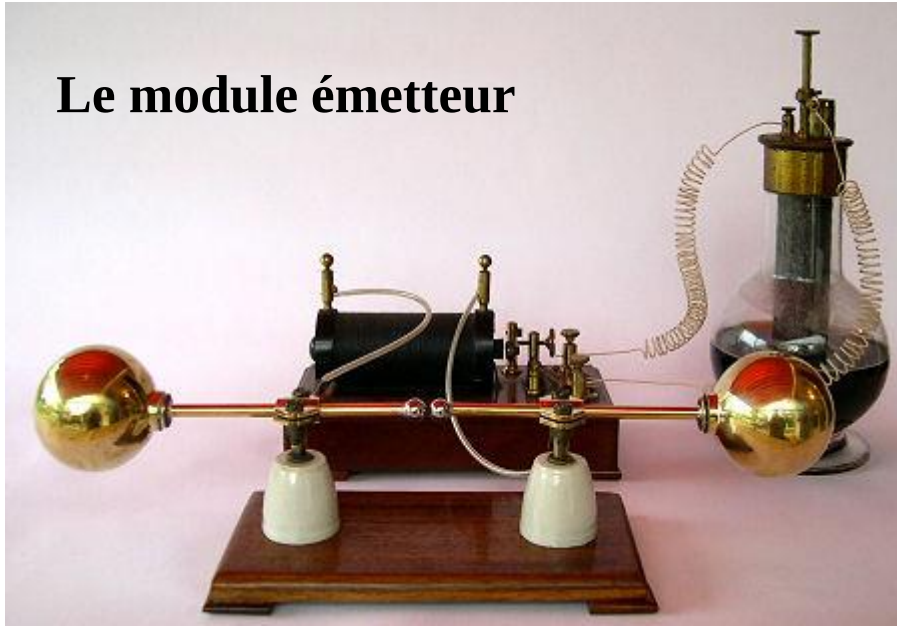


Le cohéreur de Branly (1890)

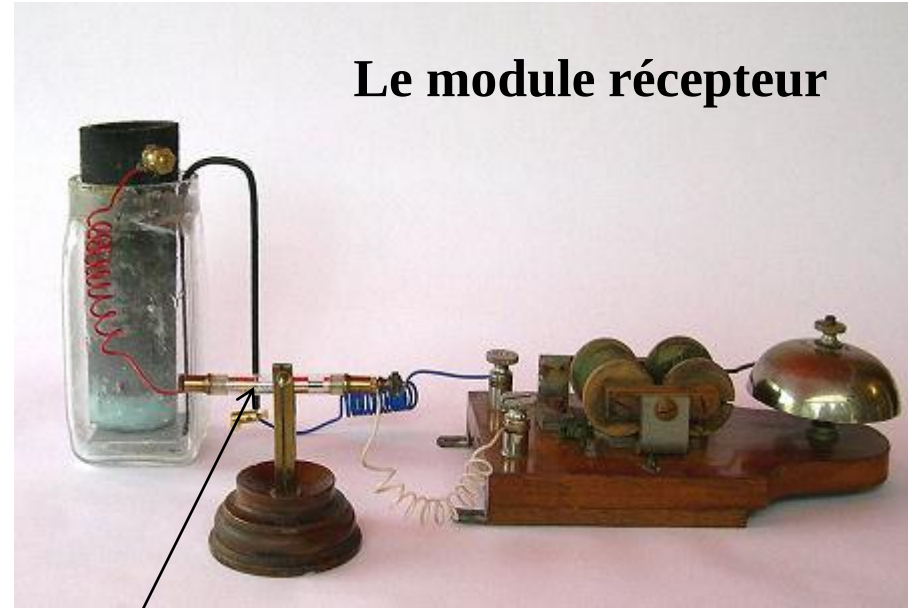


L'un des pères de la radio...

Le module émetteur



Le module récepteur



cohéreur

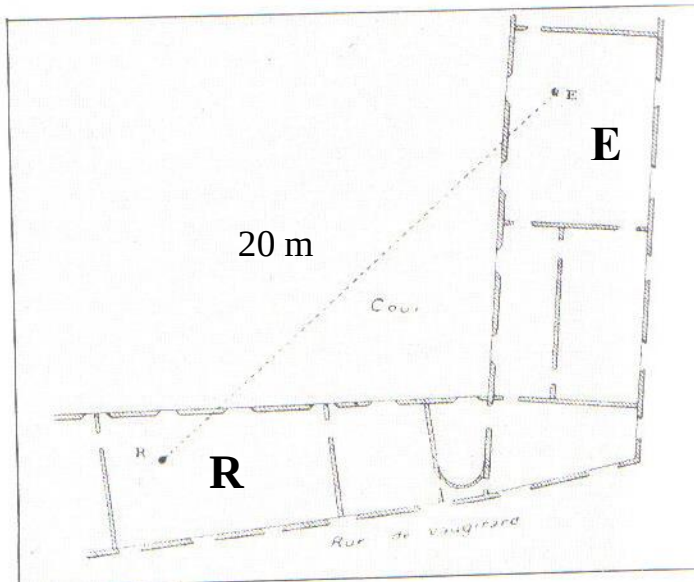
"Si l'on forme un circuit comprenant un élément Daniell, un galvanomètre à long fil et un tube à limaille (formé d'un tube en verre ou en ébonite contenant une certaine quantité de limaille métallique comprise entre deux cylindres métalliques), il ne passe le plus souvent qu'un courant insignifiant; mais il y a une brusque diminution de résistance, accusée par une forte déviation du galvanomètre, quand on vient à produire, dans le voisinage du circuit, une ou plusieurs décharges électriques. L'action peut être constatée à plus de 20 mètres, à travers des cloisons et des murs. Les variations de résistance sont considérables; elles sont, par exemple, de plusieurs millions d'ohms à 2000 ou même à 100, etc. La diminution n'est pas passagère."

Musée des arts et métiers

- Au repos, le cohéreur de **Branly** n'est pas conducteur et est équivalent à un interrupteur ouvert → *la sonnette ne sonne pas*.
- L'émetteur étant à quelque distance du récepteur (2 à 3 m), on alimente la bobine de **Ruhmkorff** et l'étincelle jaillit entre les électrodes de l'éclateur.
- Au même instant, le cohéreur reçoit les ondes électromagnétiques émises au niveau de l'étincelle.
- Le cohéreur devient conducteur → *la sonnette se met à tinter*.
- Un léger choc avec un crayon par exemple sur le tube de verre du cohéreur et la limaille est « décochée » → *la sonnette s'arrête de tinter*.
- L'expérience peut être refaite plusieurs fois de suite.

(Dans l'expérience originelle la sonnette est remplacée par un galvanomètre)

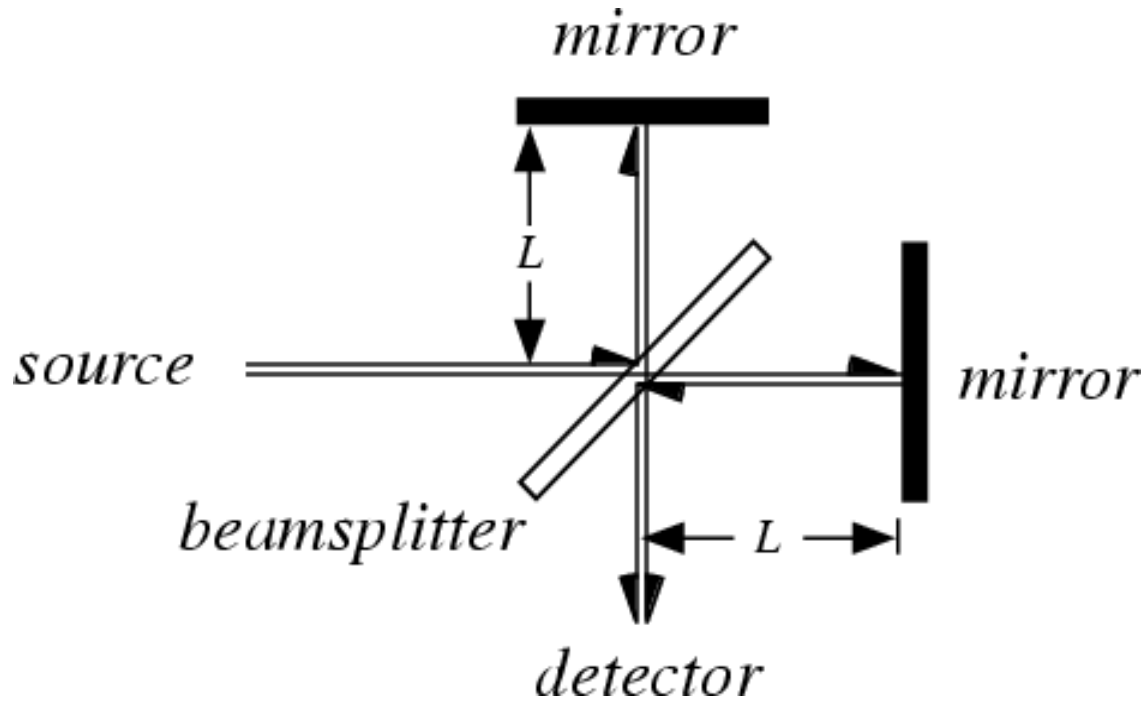
Son préparateur, **Gendron**, a résumé la découverte...



Rue de Vaugirard
(Institut Catholique)

« M. Branly fit éclater une étincelle entre les boules de notre machine de Wimshurst. Aussitôt que la lumière violette de l'étincelle éclairait la limaille, cette dernière laissait passer le courant ainsi qu'en témoignait l'aiguille du galvanomètre. [...] Beaucoup en seraient restés là mais le génie de Branly lui inspira un mouvement. *Il plaça un bout de carton devant la longue étincelle lumineuse de la machine et constata sur le galvanomètre que le courant passait toujours. Ainsi ce n'était pas la lumière, violette ou non, qui rendait la matière conductrice, c'étaient les ondes électriques.* [...] Si ce sont les ondes électriques qui agissent sur la limaille, aucune raison pour que le même phénomène ne se reproduise pas hors de portée des ondes lumineuses, à une distance beaucoup plus considérable. [...] Toutes les fois que faisais éclater une étincelle, ajoute Gendron, l'aiguille du galvanomètre de M. Branly, à vingt mètres de moi entraînait en mouvement. Je pouvais ainsi envoyer des signaux à M. Branly. En effet, chaque fois qu'il avait constaté un mouvement de l'aiguille, il ébranlait par un choc le tube de limaille et l'aiguille du galvanomètre revenait à zéro. Elle recommençait à se déplacer lorsque se produisait une nouvelle étincelle ».

Expérience de **Michelson-Morley** (1887)



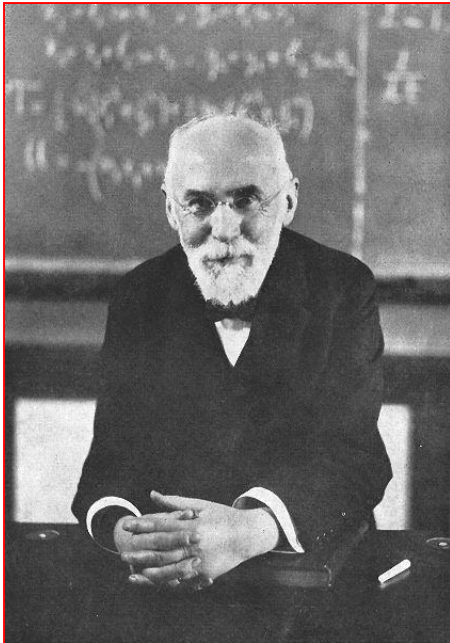
Idée: mesurer la vitesse de l'éther par rapport à la terre afin de démontrer son existence



Fin du XIX, à l'orée de la relativité...

Henri Poincaré (1854-1912)

- ✓ L'un des pères de la relativité restreinte.
- ✓ Propage les idées de **Maxwell** en France.
- ✓ Décèle une erreur dans l'expérience de **Hertz**.



Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928)

- ✓ Force de **Lorentz**.
- ✓ Electrodynamique.
- ✓ Groupe des transformations de **Lorentz-Poincaré**.
- ✓ Formulation covariante des équations de **Maxwell**.

Réflexion sur la pratique scientifique

« Chaque physicien croit savoir ce que Hertz a fait et découvert en 1887-88: il a montré expérimentalement qu'un « excitateur électrique » bien conçu était capable de produire des ondes qui se déplaçaient dans l'air à la vitesse de la lumière, ce qui était une preuve forte en faveur des théories maxwelliennes. Cette formulation est à la fois assez juste et hautement problématique pour beaucoup des contemporains qui douteront de l'interprétation hertzienne de l'expérience, qui douteront de la fiabilité du résultat numérique, qui proposeront d'autres lectures et d'autres expériences. Tous les grands noms de la physique de la fin du XIXe siècle sont impliqués dans ces débats qui durent pendant plusieurs années -en France: Poincaré, Cornu, Brillouin et bien d'autres, mais le débat est totalement international et ces débats soulèvent des questions épistémologiques fondamentales sur ce qu'est une preuve en physique. »

Dominique Pestre

Heinrich Hertz, l'administration de la preuve, PUF (2002).

