

# Ampère, le « Newton » de l'électrodynamique

Hélène Fischer,  
Institut Jean Lamour  
(CNRS – Université de Lorraine)

 INSTITUT  
JEAN LAMOUR

  
Société Française  
de Physique



# Le contexte historique à la fin du XVIIIème siècle

## La conception de l'électricité : un vaste débat



Se côtoient plusieurs théories, et plusieurs approches.

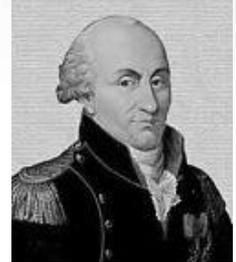
### ❑ Coulomb : approche newtonienne à 2 fluides.

- montre que les forces électriques s'exerçant entre charges ponctuelles suivent une loi d'action à distance en  $1/d^2$ .
- fait l'hypothèse de **2 fluides magnétiques qui ne peuvent se déplacer librement à l'intérieur de l'aimant**, montre que les forces magnétiques suivent aussi une loi en  $1/d^2$ , et propose une **théorie microscopique de l'aimantation pour expliquer l'expérience de l'aimant brisé**.

=> accueil septique réservé à la théorie magnétique de Coulomb.

### ❑ Poisson : développements mathématiques.

- généralise l'expression de la force électrique s'exerçant entre deux charges ponctuelles à celle de l'action entre deux corps chargés de formes quelconques (cf Laplace)
- tente de formaliser la différence majeure entre les fluides électriques et les fluides magnétiques qu'il modélise par une « force coercitive ».



Charles-Augustin  
Coulomb  
1736 - 1806



Siméon Denis  
Poisson  
1781 - 1840

« Ampère, le « Newton » de l'électrodynamique », Hélène Fischer, IJL



# Le contexte historique à la fin du XVIIIème siècle

## Les conséquences de la théorie newtonienne

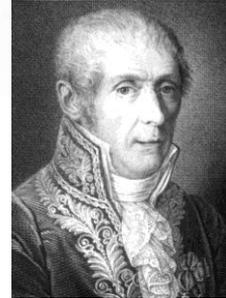
- ❑ **Analogies formelles fortes entre les trois branches de la physique : gravitation, électricité, et magnétisme.**
  - => sentiment d'être face à un **édifice inébranlable**, « **stable et impossible à renverser** ».
  - => **s'oppose à l'introduction de toute autre nouvelle théorie.**
  
- ❑ **Indépendance totale entre phénomènes électriques et magnétiques.**
  - => impossible pour un physicien « sérieux » de chercher une action réciproque entre magnétisme, électricité, gravitation, lumière et chaleur. **Il y a indépendance d'action et indépendance de cause.**

# Le contexte historique au début du XIXème siècle



Qu'en est-il des connaissances en électricité en 1800-1820 ?

- ❑ **3 types de fluides** : le **fluide électrique « ordinaire »** (celui des étincelles, des *décharges*), le **fluide galvanique** présent dans les premières piles de Volta, dont le fonctionnement pas clair s'explique par des interprétations électrostatiques ou électrochimique, **et le fluide magnétique**.
- ❑ **aucun consensus, ni sur la manière dont le fluide électrique est créé et circule dans les conducteurs, ni sur les notions de circuits ouverts et fermés, ni sur celles de courant et de tension.**
- ❑ **Interrogations au sujet de l'action de la foudre** : comment expliquer l'inversion possible des pôles d'une boussole sous l'effet de la foudre ?



Alessandro Volta  
1745 - 1827

# Le contexte historique au début du XIXème siècle

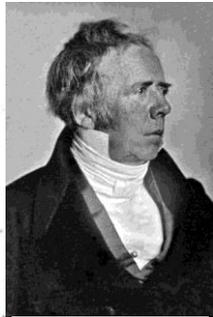


## Les théories unitaires

Au début du XIXe siècle dans les pays germaniques, grande influence de la vision romantique de la nature, la *Naturphilosophie*, qui affirme l'unité profonde des phénomènes.

- ❑ existence de deux forces fondamentales, l'une d'attraction et l'autre de répulsion, se manifestant sous des formes différentes selon les conditions expérimentales (lumière, chaleur, électricité, magnétisme, affinité chimique), et pouvant se convertir l'une en l'autre.
- ❑ recherche des analogies entre voltaïsme et magnétisme, entre extrémités d'une pile et d'un aimant => unification de l'électricité et du magnétisme grâce à la notion de polarité.
- ❑ Oersted 1813 : ne comprend pas l'absence d'influence entre les corps électrisés et magnétisés.

=> hiérarchie entre les diverses formes d'électricité : électricité ordinaire – électricité voltaïque – électricité magnétique. Il pense que seules les électricités « voisines » peuvent interagir entre elles.

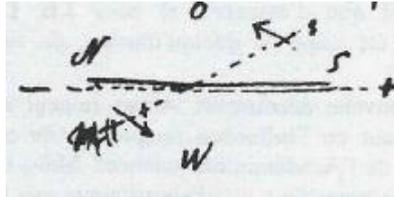
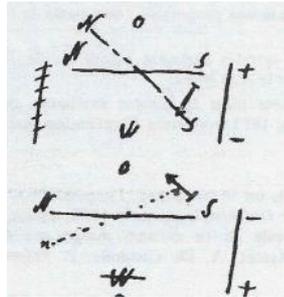
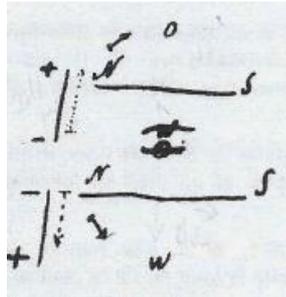


Hans Christian  
Oersted  
1777 - 1851

# Avril 1820 : la découverte de Oersted



- ❑ Expérience réalisée en avril 1820 (déviation incertaine), puis répétée en juillet 1820 avec une pile plus puissante.



Oersted, carnets de laboratoire



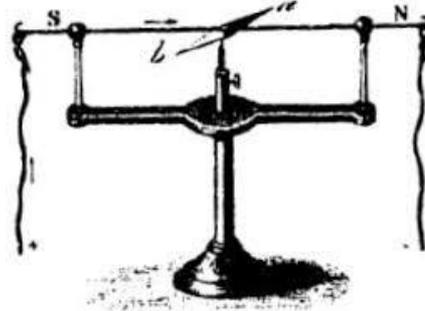
Oersted dans son laboratoire

- ❑ Oersted n'est pas étonné par son expérience car il affirme depuis longtemps l'unité des phénomènes physiques.

# Avril 1820 : la découverte de Oersted



- ❑ **Expérience réalisée en avril 1820** (déviation incertaine), puis **répétée en juillet 1820** avec une pile plus puissante.
- ❑ **Mémoire, juillet 1820** : « L'aiguille aimantée change de direction par influence de l'appareil voltaïque, et cet effet a lieu lorsque le circuit est fermé et non lorsqu'il est interrompu. C'est pour avoir laissé le circuit ouvert que de célèbres physiciens n'ont point réussi, il y a quelques années, à montrer cet effet. »



*Oersted dans son laboratoire*

# Accueil de l'expérience de Oersted



- ❑ **Été 1820 : l'expérience est répétée avec la pile puissante de Genève en présence de nombreux physiciens** : « arrivés presque tous avec la conviction qu'Oersted avait été dupe de quelques illusions, ils voyaient l'aiguille aimantée obéir à l'action du courant électrique ». (Lettre de Marcet à Berzelius, 25 sept 1820)

- ❑ **Séance du 4 septembre 1820 à l'Académie** : Arago rend compte de l'expérience => phénomène inattendu => accueil très froid => incrédulité et scepticisme !!!

**Ampère** : [la théorie de Coulomb de l'électricité et du magnétisme] « écartait absolument toute idée d'action [de l'une sur l'autre]. (*lettre à un ami*)

- ❑ **Séance du 11 septembre à l'Académie** : Arago répète lui-même l'expérience pour parvenir à convaincre => engouement extraordinaire : chacun, à Paris, Genève, Londres refait l'expérience.

**Plusieurs types de difficultés** : celles dues au caractère « transversal » des forces mises en jeu, celles dues à la notion de « courant voltaïque », celles dues au rapport entre électricité et magnétisme...



François Arago  
1786 - 1853

« Ampère, le « Newton » de l'électrodynamique », Hélène Fischer, IJL, 23 novembre 2020



# L'interprétation de Oersted

« Nous désignerons l'effet qui se manifeste dans le conducteur et autour de lui pendant l'action voltaïque, par l'épithète de conflit électrique», Oersted.

❑ **Observations :**

- « le conflit électrique n'agit que sur les particules magnétiques de la matière" puisqu'il ne dévie pas les aiguilles non magnétiques.
- le conflit entre les 2 électricités opposées n'est pas circonscrit au fil conducteur : il s'étend dans l'espace, « en tournoyant ».

❑ **Explications :** la "matière électrique négative" décrit une spirale à droite et agit sur le pôle nord tandis que la "matière électrique positive" possède un mouvement de sens contraire et agit sur le pôle sud sans agir sur le pôle nord.

=> la forme la plus « latente » de l'électricité agit sur les corps au sein desquels se trouve la même « forme » d'électricité = les aimants => origine du magnétisme.

# Deux approches différentes de l'expérience de Oersted



A Paris, la théorie newtonienne fait loi.

❑ **L'hypothèse de Biot = supposer une aimantation temporaire du fil électrique.**

⇒ il ramène alors l'inconnu = les courants galvaniques, au connu = les fluides magnétiques => ramène la découverte de Oersted au magnétisme seulement.

⇒ hypothèse retenue par la majorité des physiciens (Poisson, Laplace ...).

❑ **L'hypothèse d'Ampère = supposer l'existence de courants électriques dans les aimants.**

=> supposer, comme fondement du nouveau phénomène, une action entièrement nouvelle, celle de **l'interaction entre courants électriques.**



Jean-Baptiste Biot  
1774 - 1862



André-Marie  
Ampère  
1775 - 1836

# André-Marie Ampère avant l'expérience de Oersted



**Jusqu'à 29 ans** : vie à Lyon, amis lyonnais très influencés par les romantiques allemands.

**1801** : **préliminaires d'un grand mémoire sur la physique visant à unifier électricité et magnétisme.**

« J'ai donc pu me flatter que le hasard m'avait favorisé d'une de ces idées qui ouvrent aux physiciens une carrière nouvelle lorsqu'après avoir réduit tous les phénomènes de l'aimant et de l'électricité à un principe unique, j'ai vu naître de ce principe les applications les plus simples et les plus naturelles d'un grand nombre de faits dont les causes étaient ignorées. »

*Ampère 1801, Mémoire inédit sur l'électricité et le magnétisme*

=> vise à refonder la physique en refusant « la supposition même d'une action entre deux corps qui ne se touchent pas » : il imagine un fluide remplissant tout l'espace, et une attraction unique et universelle, puisque d'origine divine, pour expliquer les divers phénomènes physiques.

# André-Marie Ampère après l'expérience de Oersted



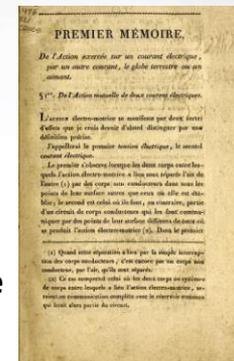
Deux périodes très fécondes :

- ❑ sept 1820 - janv 1821 = période de la création, de l'invention avec une fougue extraordinaire  
=> fonder la nouvelle théorie du magnétisme basée sur les actions entre courants.

=> Publication du premier mémoire dans les *Annales de Chimie et de Physique* : « De l'action exercée sur un courant électrique par un autre courant, le globe terrestre ou un aimant ».

- ❑ 1823 – 1826 = période de la défense de sa théorie, de l'élargissement de son champ d'action, et de l'approfondissement de ses fondements.

=> Publication d'un 2<sup>e</sup> ouvrage en 1826 « *Théorie des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience* » => point d'orgue de ses recherches.

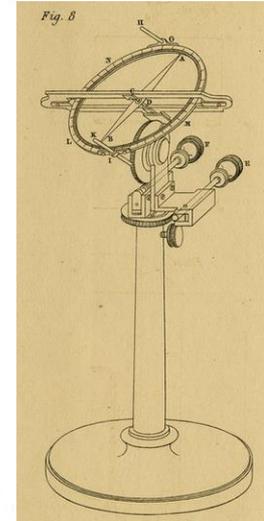


# Séance du 18 septembre 1820 à l'Académie

## L'explication de la rotation de l'aiguille



- ❑ Ampère analyse l'expérience de Oersted et distingue 2 résultats distincts :
  - le 1<sup>er</sup> = l'effet de rotation qui met en croix le fil et l'aimant.
  - le 2<sup>ième</sup> = l'attraction exercée par le fil sur l'aiguille=> objectif = montrer indépendamment ces 2 actions d'un conducteur sur un aimant.
  
- ❑ Pour isoler le phénomène de rotation, il faut éliminer toute action du magnétisme terrestre.
  - conception d'une **aiguille astatique**, mobile dans un plan quelconque, sensible seulement au courant galvanique.
  - **vérification de l'action du courant galvanique seul**, qui amène l'aiguille en croix par rapport à sa position initiale.



*La boussole astatique d'Ampère.*

- ❑ Mais, comment définir la direction prise par l'aiguille aimantée en l'absence de courant galvanique ?

« Ampère, le « Newton » de l'électrodynamique », Hélène Fischer, IJL, 23 novembre 2020



# Séance du 18 septembre 1820 à l'Académie

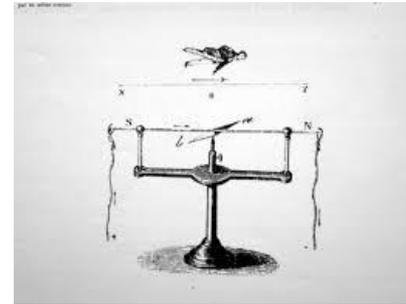
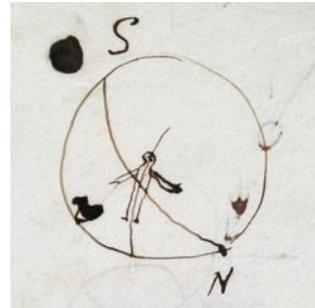
## L'hypothèse de l'origine électrique du magnétisme terrestre

❑ Mais, comment définir la direction prise par l'aiguille aimantée en l'absence de courant galvanique ?

=> L'idée la plus simple pour expliquer la rotation de l'aiguille :

Admettre « dans la Terre un courant électrique, dans une direction telle que le Nord se trouvât à gauche d'un homme qui, couché sur sa surface pour avoir la face tournée du côté de l'aiguille, recevrait ce courant dans la direction de ses pieds à sa tête, et d'en conclure qu'il a lieu, de l'Est à l'Ouest, dans une direction perpendiculaire au méridien terrestre. »

Le bonhomme d'Ampère  
Fonds Ampère, Archives  
de l'Académie des Sciences

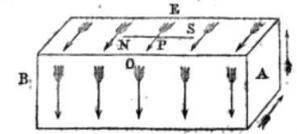


# Séance du 18 septembre 1820 à l'Académie

## L'explication de l'attraction indépendamment de la rotation



- ❑ **Raisonnement d'Ampère : les effets directeurs d'un aimant sur l'aiguille aimantée doivent avoir même origine que ceux de la Terre sur l'aiguille aimantée => un aimant ne serait donc qu'un assemblage de courants galvaniques dans des plans perpendiculaires à son axe.**



Un aimant selon Ampère

⇒ Pour vérifier l'hypothèse, construction de spirales de courants = cercles parallèles de courant centrés sur un même axe.

- ❑ **Comme l'aimant, un courant électrique doit donc aussi manifester un effet attractif.**

⇒ Pour vérifier l'hypothèse, rapprochement d'une spirale de courant de l'aiguille astatique.

⇒ **Ampère ramène ainsi tous les phénomènes magnétiques à des effets purement électriques => pas de magnétisation temporaire du fil.**



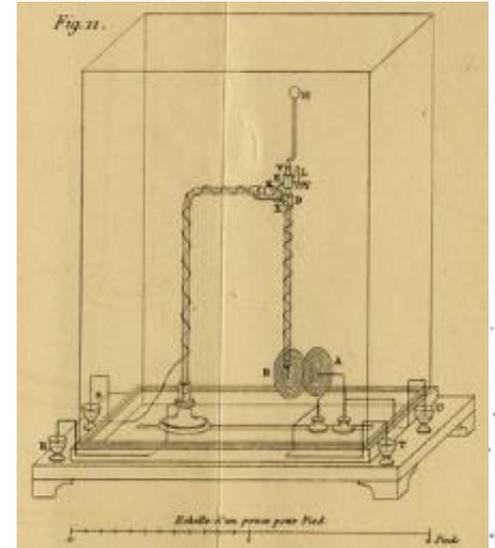
Une spirale à la manière d'Ampère

# Séance « historique » du 25 septembre 1820 à l'Académie

## Les preuves de sa « grande théorie »



- ❑ Vérification expérimentale de l'hypothèse selon laquelle la spirale se comporterait comme l'image électrique d'un pôle magnétique => conception d'un dispositif expérimental.
- ❑ Utilisation de ce même dispositif expérimental en remplaçant l'aimant par une 2<sup>ème</sup> spirale => l'expérience « décisive ».



Etude de l'interaction entre deux spirales

# Séance « historique » du 25 septembre 1820 à l'Académie

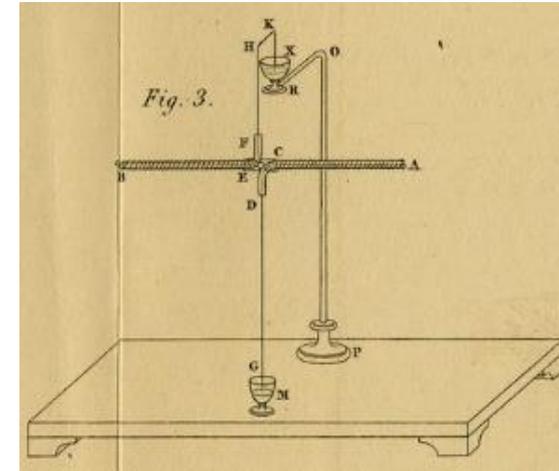
## Les preuves de sa « grande théorie »



- ❑ Vérification expérimentale de l'hypothèse établie que la spirale se comporte comme l'image électrique d'un pôle magnétique => conception d'un 1<sup>er</sup> dispositif.
- ❑ Utilisation de ce même dispositif expérimental en remplaçant l'aimant par une 2<sup>ème</sup> spirale => l'expérience « décisive ».
- ❑ Les spirales sont ensuite remplacées par des hélices = « solénoïdes ».

« Spirales et hélices galvaniques produisent les mêmes effets que les aimants ».

⇒ « M. Ampère a découvert ce fait, que deux courants électriques s'attirent lorsqu'ils vont dans le même sens, et qu'ils se repoussent s'ils vont en sens contraire », ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle les propriétés des aimants sont dues à des courants électriques circulant dans des plans perpendiculaires à leur axe.



Etude de l'interaction entre deux solénoïdes

## Soir du 25 septembre 1820 : lettre à son fils Jean-Jacques



*"Tous mes moments ont été pris par une circonstance importante de ma vie. Depuis que j'ai entendu parler pour la première fois de la belle découverte de M. CErsted [...] sur l'action des courants galvaniques sur l'aiguille aimantée, j'y ai pensé continuellement, je n'ai fait qu'écrire une grande théorie sur ces phénomènes et tous ceux déjà connus de l'aimant, et tenter des expériences indiquées par cette théorie, qui toutes ont réussi et m'ont fait connaître autant de faits nouveaux.*

*Je lus le commencement d'un mémoire à la séance de lundi il y a aujourd'hui 8 jours. Je fis les jours suivants, tantôt avec Fresnel, tantôt avec Despretz, les expériences confirmatives ; je les répétais toutes vendredi soir chez Poisson [...]. Tout réussit à merveille ; mais l'expérience décisive que j'avais conçue comme preuve définitive exigeait 2 piles galvaniques ; tentée avec des piles trop faibles chez moi avec Fresnel, elle n'avait point réussie.*

*Enfin hier j'obtins de Dulong qu'il permit à Dumotier de me vendre la grande pile qu'il faisait construire pour le cours de physique de la Faculté et qui venait d'être achevée. Ce matin l'expérience a été faite chez Dumotier avec un plein succès et répétée aujourd'hui à 4 heures, à la séance de l'Institut. On ne m'a pas fait d'objection et voilà une nouvelle théorie de l'aimant qui en ramène, par le fait, tous les phénomènes à ceux du galvanisme.*

*Cela ne ressemble à rien de ce qu'on disait jusqu'à présent. Je le réexpliquerai demain à M. de Humboldt, après-demain à M. de Laplace au Bureau des Longitudes.*

*Ta tante Carron va mieux [...]*

*Ton papa t'embrasse mille et mille fois. »*

[Ampère, lettre à son fils Jean-Jacques, 19-25 septembre 1820](#)

« Ampère, le « Newton » de l'électrodynamique », Hélène Fischer, IJL, 23 novembre 2020



# Séances de septembre-octobre 1820 à l'Académie

## Les questions relatives au courant électrique

### ❑ **Quelle est l'origine possible du courant électrique dans la pile ? Dans la Terre ?**

« Volta a bien prouvé que l'électricité se développe au contact des métaux. Mais elle se développe aussi au contact des autres corps conducteurs. »

⇒ les courants électriques dans le globe terrestre seraient ainsi dus au contact entre substances différentes dans la Terre.

### ❑ **Qu'est-ce qu'un conducteur ? Est-il le lieu neutre d'un transport d'électricité ? Ou est-ce qu'il a une structure microscopique jouant un rôle dans le phénomène de conduction ?**

### ❑ **Quelle sont les relations entre l'« électricité de courant » et l'« électricité de tension », deux catégories de phénomènes dont les effets semblent s'opposer ?**

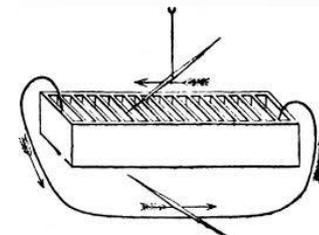
# Séances de septembre-octobre 1820 à l'Académie

## Les questions relatives au courant électrique



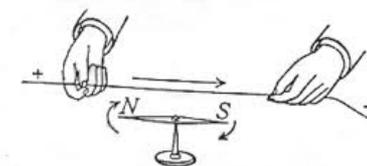
- ❑ Ampère place une boussole ordinaire au-dessus de la pile : « le courant qui existe dans la pile voltaïque, de l'extrémité négative à l'extrémité positive, avait sur l'aiguille aimantée la même influence que le courant du conducteur qui va, au contraire, de l'extrémité positive à la négative ».

=> La pile et le fil conducteur qui en relie les pôles ont une propriété commune, celle d'être traversée par le courant électrique.



- ❑ Ampère reproduit l'expérience de Oersted avec un fil conducteur très long (20m) : celui-ci agit encore en son milieu sur l'aiguille, sans affaiblissement.

=> La déviation de l'aiguille est due au courant, et non aux bornes de la pile situées beaucoup trop loin => distinction entre courant et tension.

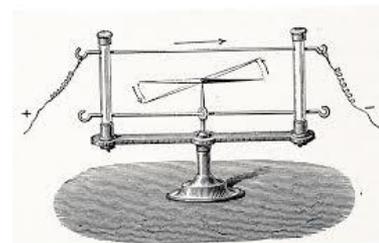


# Séances de septembre-octobre 1820 à l'Académie

## Les questions relatives au courant électrique



- ❑ Ampère introduit alors un nouveau concept, celui de « courant électrique », et une nouvelle grandeur propre au circuit dans son ensemble, celle « d'intensité du courant ». Il choisit arbitrairement le sens positif du courant à partir de l'électrolyse de l'eau.
- ⇒ Ampère développe un instrument, **le galvanoscope puis le galvanomètre**, pour mesurer l'intensité du courant par l'angle de déviation de l'aiguille.
- ❑ Ampère distingue alors **l'électrostatique**, caractérisée par la tension électrique qui se manifeste entre deux corps chargés d'électricité, séparés par des corps non conducteurs, **et l'électrodynamique** caractérisée par un courant électrique qui circule à l'intérieur d'un conducteur du pôle positif vers le pôle négatif.



# A la recherche d'une loi mathématique ...

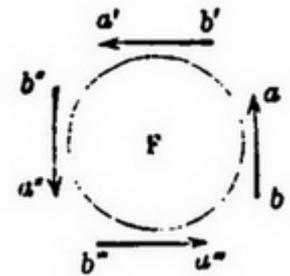
## La formule électrodynamique de Biot-Savart-Laplace



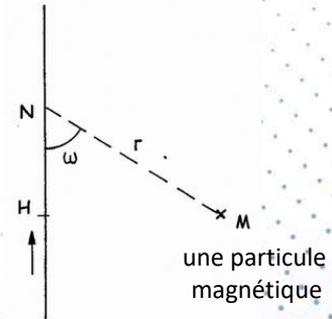
Hypothèse de Biot = supposer une aimantation temporaire du fil électrique.

- ❑ Biot considère comme portion de courant des « tranches » de conducteur qui subissent une « aimantation momentanée de leurs molécules », ce qui les rend équivalentes à des aiguilles aimantées tangentielles.
- ❑ **Lecture de Biot le 18 décembre** : la force élémentaire exercée par une tranche infiniment mince, située en N, d'un fil conducteur infini sur une « particule de magnétisme », située en M, est perpendiculaire au plan de la figure, et proportionnelle à  $\frac{\sin\omega}{r^2}$ .

Loi obtenue par des séries répétitives de mesures absolues et délicates, sauf la dépendance en  $\sin\omega$  obtenue plutôt par intuition.



Une tranche de conducteur



fil conducteur infini



# A la recherche d'une loi mathématique ...

## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

- ❑ **Hypothèse d'Ampère** : supposer l'existence de courants dans les aimants => ramener l'action d'un fil conducteur sur un aimant à des interactions entre courants.
- ❑ **Démarche dans une pure logique newtonienne** : comme les mécaniciens qui ont déduit mathématiquement tous les mouvements entre des corps de la force s'exerçant entre deux masses ponctuelles, Ampère veut **obtenir une loi élémentaire universelle entre éléments de courant, qu'il obtient en décomposant, par la pensée, un courant fini en une infinité de petits segments élémentaires.**

=> portion de courant = **élément longitudinal, pris sur le fil, de longueur infinitésimale ds.**



Représentation par des flèches des courants élémentaires d'Ampère ("suivant moi") et des aimants élémentaires de Biot ("suivant M. Biot").

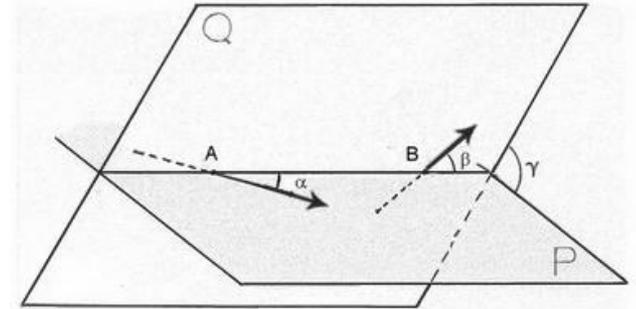


# A la recherche d'une loi mathématique ...

## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

Comment varie la force en fonction de  $r = AB$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , et  $\gamma$  ?

- ❑ **Hypothèses newtoniennes** : la force entre deux éléments de courant s'exerce à distance, suivant la droite qui les joint, et respecte le principe de l'action et de la réaction.
- ❑ **Hypothèse** : la force élémentaire décroît « dans le rapport inverse du carré de cette distance, conformément à ce qu'on observe pour tous les genres d'actions plus ou moins analogues à celui-là ».



Deux éléments de courant de longueur infinitésimale par rapport à la distance qui les sépare, l'un de milieu A dans le plan P, l'autre de milieu B dans le plan Q

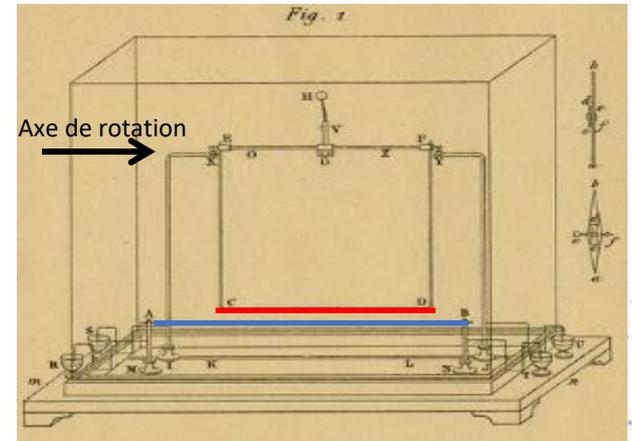


# A la recherche d'une loi mathématique ... La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

## ❑ Expérience des deux fils rectilignes et parallèles

2 fils parallèles s'attirent s'ils sont parcourus par des courants de même sens et se repoussent si les courants sont de sens contraires.

=> **hypothèse** : Ampère suppose ce résultat encore valable entre éléments de courant infiniment petits et parallèles.



Expérience des 2 fils rectilignes parallèles



# A la recherche d'une loi mathématique ...

## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

### ❑ Expérience des deux fils rectilignes et parallèles

2 fils parallèles s'attirent s'ils sont parcourus par des courants de même sens et se repoussent si les courants sont de sens contraires.

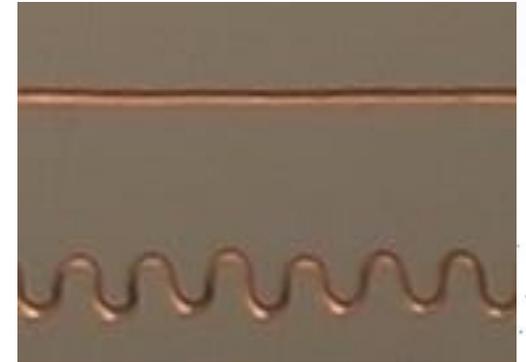
**=> hypothèse : Ampère suppose ce résultat encore valable entre éléments de courant infiniment petits et parallèles.**

### ❑ Expérience du fil sinueux parallèle à un fil rectiligne

S'ils sont parcourus par des courants de sens contraires situés à une distance suffisamment grande devant les sinuosités, ces 2 fils exercent des actions qui se compensent.

⇒ **principe d'addition vectorielle entre éléments de courants.**

⇒ **hypothèse : Ampère suppose ce principe encore valable entre éléments de courant infiniment petits.**



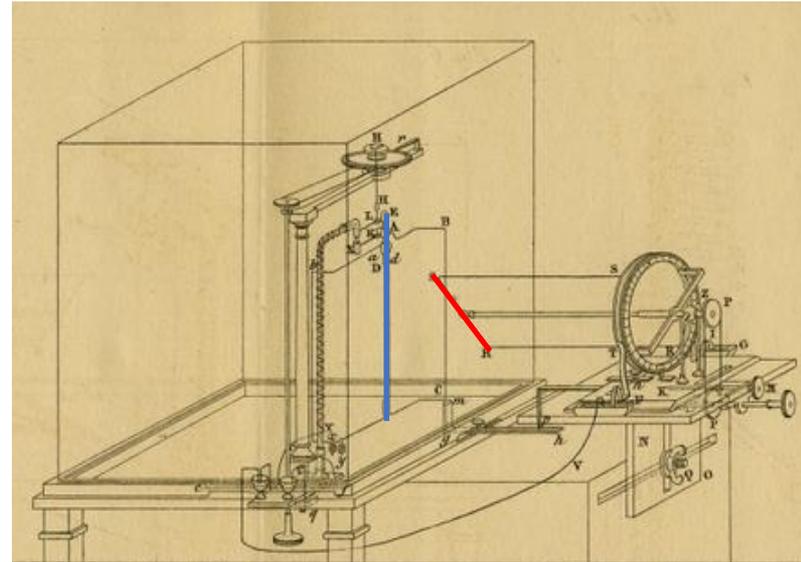
*Expérience du fil sinueux parallèle à un fil rectiligne*



# A la recherche d'une loi mathématique ... La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

- ❑ Dispositif complexe, non construit au moment de la publication du mémoire.
- ❑ Aucune trace de mesures dans les manuscrits d'Ampère.

=> abandon de la perspective d'effectuer des mesures absolues comme Biot.



*Croquis d'un dispositif destiné à mesurer les dépendances angulaires entre les deux éléments de courants*



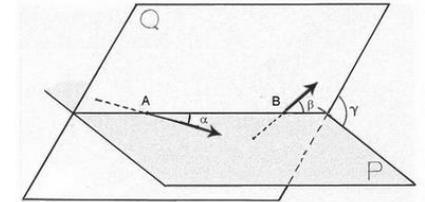
# A la recherche d'une loi ... séance du 4 décembre 1820

## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

- ❑ « Je fus bientôt convaincu qu'on ne pouvait conclure cette loi de l'expérience », car on ne peut pas mesurer de forces entre des éléments infinitésimaux => formulation de nouvelles hypothèses sur cette formule élémentaire.
- ❑ **Hypothèse complémentaire** : force nulle entre 2 éléments infinitésimaux de courant si l'un d'eux est situé dans le plan perpendiculaire au second en son milieu.

=> la force élémentaire est proportionnelle à :  $\frac{gh (\sin\alpha \sin\beta \cos\gamma + k \cos\alpha \cos\beta)}{r^2}$

avec g et h dépendant de « ce qu'il passe d'électricité en des temps égaux ».

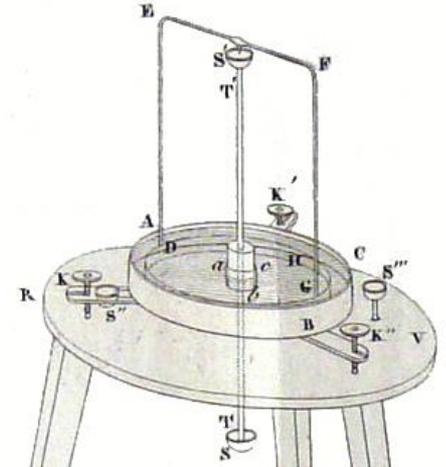




# A la recherche d'une loi ... automne 1821

## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

- ❑ Faraday annonce qu'il a obtenu la **rotation continue d'un aimant sous l'action d'un conducteur, et réciproquement ! Etonnement d'Ampère !**
- ⇒ Ampère remplace l'aimant vertical fixe par un circuit circulaire placé autour de sa cuve de mercure => rotation !
- ⇒ **Pour Ampère, confirmation de son hypothèse d'existence de courants électriques dans les aimants, face à celle de Biot.**
- ⇒ **Une des expériences ancêtres du moteur électrique ... sans suite.**



*Etude de la rotation continue d'un courant sous l'action d'un courant*

# A la recherche d'une loi mathématique ... après 1822

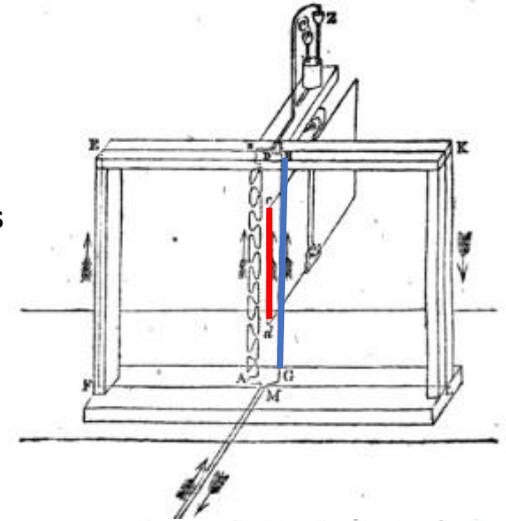
## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère



- ❑ Développement d'une méthode originale et abandon de tout projet de mesures absolues des forces électrodynamiques.

=> la « **méthode du zéro** » : observation du maintien en équilibre d'un conducteur mobile sous des actions égales et opposées de deux conducteurs fixes => **par intégration, Ampère déduit, de la géométrie des conducteurs, des conditions mathématiques qui précisent la forme de la force élémentaire.**

- ❑ **2 cas d'équilibre connus par les expériences précédentes :**
  - 2 courants parallèles, égaux, voisins et de sens contraire.
  - 1 courant rectiligne et 1 courant sinueux.



*Etude de l'équilibre d'un conducteur mobile astatique subissant l'action simultanée de 2 circuits parcourus par un même courant.*



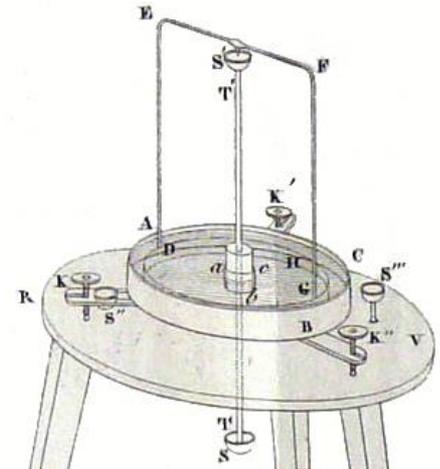
# A la recherche d'une loi mathématique ... après 1822

## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

- ❑ Développement d'une méthode originale et abandon de tout projet de mesures absolues des forces électrodynamiques.

=> la « **méthode du zéro** » : observation du maintien en équilibre d'un conducteur mobile sous des actions égales et opposées de deux conducteurs fixes => **par intégration, Ampère déduit, de la géométrie des conducteurs, des conditions mathématiques qui précisent la forme de la force élémentaire.**

- ❑ **3<sup>e</sup> cas d'équilibre : extrapolé des expériences de rotations continues.**
  - ⇒ expérience « théorique »
  - ⇒ Permet de justifier les hypothèses faites et de déterminer :  $k = -1/2$



*Etude de la rotation continue d'un courant sous l'action d'un courant*



# A la recherche d'une loi mathématique ... après 1822

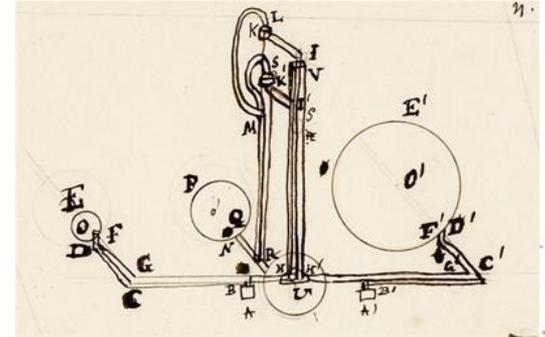
## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

- ❑ Développement d'une méthode originale et abandon de tout projet de mesures absolues des forces électrodynamiques.

=> la « **méthode du zéro** » : observation du maintien en équilibre d'un conducteur mobile sous des actions égales et opposées de deux conducteurs fixes => **par intégration, Ampère déduit, de la géométrie des conducteurs, des conditions mathématiques qui précisent la forme de la force élémentaire.**

- ❑ 4<sup>ème</sup> cas d'équilibre pour vérifier l'hypothèse d'une loi en  $1/r^2$   
=> expérience « théorique ».

=> ces 4 situations d'équilibre vont alors jouer un rôle pour Ampère analogue à celui des 3 lois de Kepler qui permirent à Newton d'établir la loi fondamentale de la dynamique.



*Etude du 4<sup>ème</sup> cas d'équilibre obtenu par l'action simultanée sur un circuit circulaire mobile, de 2 circuits circulaires fixes, l'un p fois plus petit, l'autre p fois plus grand, les distances entre les centres des cercles étant dans le même rapport p que leur rayon.*



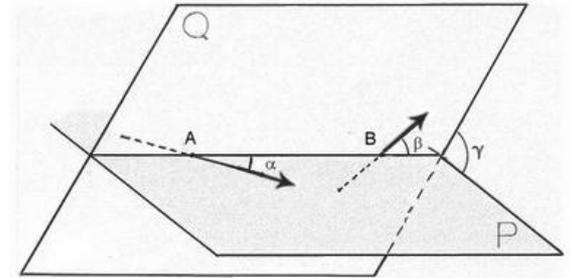
# A la recherche d'une loi mathématique ... après 1822

## La loi d'action entre 2 éléments de courants d'Ampère

- ❑ Formulation générale de l'action mutuelle entre 2 éléments de courants infiniment petits de longueur  $ds$  et  $ds'$  :

$$\frac{ii' ds ds' (\sin\alpha \sin\beta \cos\gamma - 1/2 \cos\alpha \cos\beta)}{r^2}$$

- ⇒ Définition de l'intensité des courants à partir de la force exercée sur un élément de courant parallèle pris comme référence.



- ❑ Pour Ampère, tout se réduit ensuite à « de simples questions de calcul intégral » ...
- ❑ Ampère démontre alors la loi de Biot entre un fil et un aimant, et celle de Coulomb entre deux aimants.

⇒ Objectif de réduire tous les phénomènes magnétiques et électromagnétiques à des actions entre courants électriques atteint !



## Que devient ensuite la loi élémentaire d'Ampère ?

- ❑ « [La théorie d'Ampère] est résumée en une formule d'où l'on peut déduire tous les phénomènes, et qui doit toujours demeurer la formule fondamentale de l'électrodynamique ».

Maxwell, *A treatise on Electricity and Magnetism*, 1873

- ❑ Mais, Maxwell ne reprend pas la formule d'Ampère et fonde l'électrodynamique sur d'autres équations et sur une propagation de proche en proche dans l'éther.

⇒ La formule d'Ampère est détrônée par celle de la force de Laplace :

$$d\mathbf{F} = i'ds'B \sin\varepsilon \text{ ou } \overrightarrow{d\mathbf{F}} = i'\overrightarrow{ds'} \wedge \overrightarrow{\mathbf{B}}.$$

Ampère avait en fait établi une expression équivalente pour la force exercée par un circuit fermé sur un élément  $ds'$ , perpendiculaire à cet élément et à une droite « directrice », de norme  $\frac{1}{2} Di$   $i' ds' \sin\varepsilon \Rightarrow$  la grandeur  $1/2Di$ , associée à la directrice, présente les caractéristiques du champ magnétique  $B \Rightarrow$  **conséquence mathématique pour Ampère d'une action à distance entre éléments de courants.**

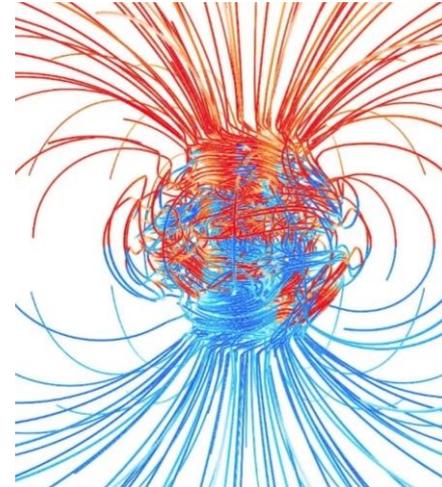
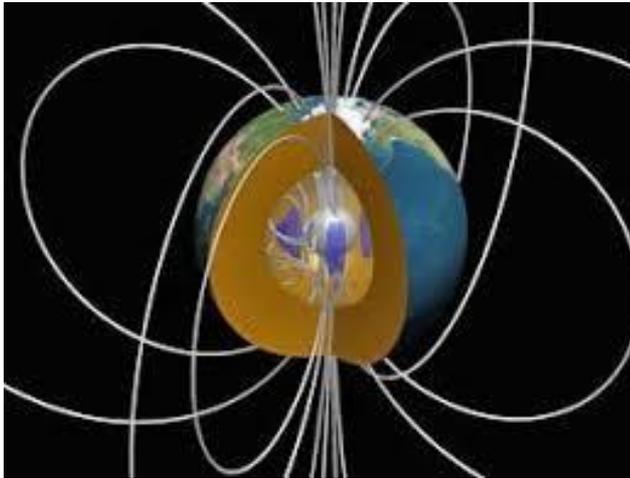
- ❑ Maxwell donne le nom de relation d'Ampère à sa relation relative aux courants, en mémoire des travaux d'Ampère à ce sujet.

« Ampère, le « Newton » de l'électrodynamique », Hélène Fischer, IJL, 23 novembre 2020



# Qu'en est-il aujourd'hui de l'hypothèse de l'origine électrique du magnétisme terrestre

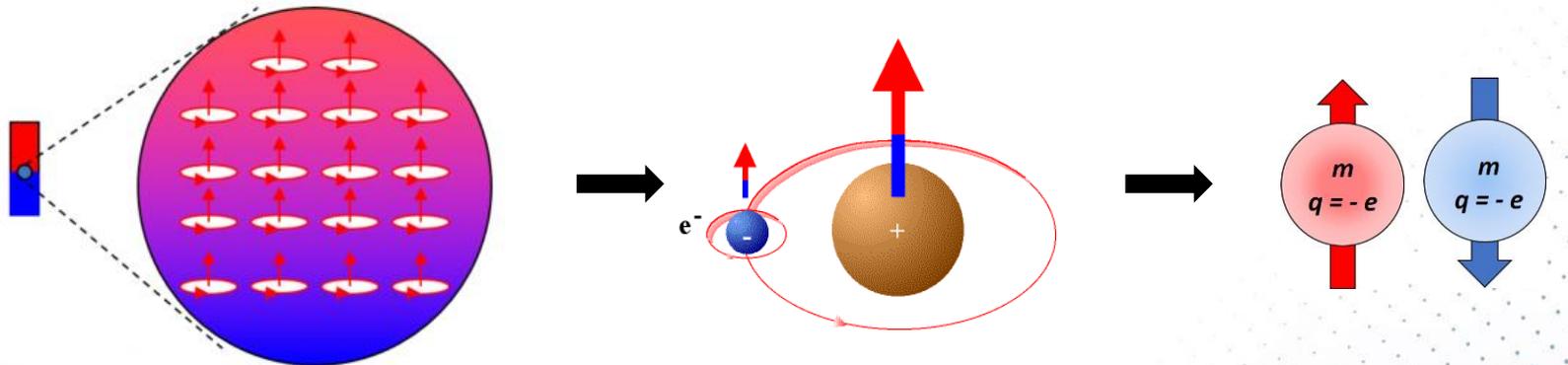
- ❑ Effectivement, le magnétisme terrestre est dû à des courants électriques. Mais, ceux-ci ne sont pas périphériques : ils sont convectifs dans le noyau externe de la Terre, selon un mécanisme de dynamo auto-excitée.





# Qu'en est-il aujourd'hui de l'hypothèse de courants électriques dans les aimants ?

- ❑ Effectivement, le champ magnétique est créé par des courants, mais ceux-ci ne se présentent pas sous forme de courbes fermées centrées sur l'axe de l'aimant situées dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'aimant. Par contre, plus tard, Ampère dira qu'elles sont réparties dans toute la masse de l'aimant autour de chacune de ses particules magnétiques.



Matière magnétique

Atome

Electrons de spin up et down

# Conclusion

Ampère, le « Newton » de  
l'électrodynamique

Hélène Fischer,  
Institut Jean Lamour  
(CNRS – Université de Lorraine)



# Conclusion : André-Marie Ampère



- ❑ **Un homme acharné et attachant, animé d'une incroyable passion créatrice, féconde et frénétique.**
  - **Un chercheur faisant preuve d'une véritable audace intellectuelle.**
  - **Un intellectuel tourmenté, partagé entre des contradictions, en particulier entre les hypothèses newtoniennes d'actions à distance, hypothèses qui lui tiennent à cœur, et le recours à la propagation de proche en proche dans l'éther, milieu hypothétique qui remplit l'espace, et auquel le mène ses échanges avec Fresnel pour expliquer les phénomènes électromagnétiques.**
  - **Un expérimentateur doté d'une ingéniosité et d'une inventivité hors du commun, malgré une quasi complète absence de mesures expérimentales.**
  - **Un scientifique manifestant une démarche exemplaire dans ce va-et-vient perpétuel qu'il instaure entre expériences qualitatives et formulations théoriques, toujours à la recherche d'une homogénéité logique entre la théorie ou « jugement universel » et l'expérience ou « jugement particulier » (Canguilhem, *leçons sur la méthode*).**

## Conclusion : André-Marie Ampère



« Il est en effet hors de doute que parfois une théorie se trouve surtout féconde dans le temps même où, proche encore de son apparition, elle reste obscure et donne prise à de graves objections. Puis le temps passe, on modifie la théorie, ou l'on répond aux objections, et l'on obtient une doctrine très claire, qui se trouve pourtant devenue à peu près stérile (...). De même, quand une théorie est encore incohérente et confuse, elle peut être déjà féconde, mais c'est à cause de la clarté qui déjà est en elle, et non pour ses obscurités. »

Jean Perrin, *Les principes*, Gauthier-Villars, Paris 1903

# Merci

à Christine Blondel pour l'ensemble  
de ses écrits très documentés  
au sujet d'Ampère.



**Merci**  
**pour votre attention**

