

Auteur ou collectivité : Mascart, Éleuthère

Auteur : Mascart, Éleuthère (1837-1908)

Titre : Notice sur les travaux scientifiques de M. E. Mascart,... complément

Adresse : Paris : Gauthier-Villars, 1884

Collation : 1 vol. (27 p.) ; 27 cm

Cote : CNAM-BIB 4 B 65 (109)

Sujet(s) : Mascart, Éleuthère (1837-1908) -- Bibliographie ; Optique -- Bibliographie ;

Électricité -- Bibliographie ; Magnétisme -- Bibliographie ; Météorologie -- Bibliographie

Note : Fait partie d'un recueil factice dont les pièces sont cotées 4 B 65 (102) à (115). 4 B 65 (109)

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?4B65.109>

4° B 65 (109)

# NOTICE

SUR LES

# TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. E. MASCART,

PROFESSEUR DE PHYSIQUE GÉNÉRALE AU COLLÈGE DE FRANCE.  
DIRECTEUR DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE.

---

COMPLÉMENT.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE  
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,  
SUCCESEUR DE MALLET-BACHELIER,  
Quai des Augustins, 55.

—  
1884

---

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELLIER.

10282

Quai des Augustins, 55.

---

---

## TABLE DES MATIÈRES.

### PHYSIQUE GÉNÉRALE ET MÉTÉOROLOGIE.

Sur un baromètre à gravité.....	1
Méthode pour déterminer l'acide carbonique de l'air.....	2
Sur l'enregistrement des phénomènes météorologiques.....	3
Sur la construction d'une règle géodésique internationale.....	4

### OPTIQUE.

Réfraction des corps organiques à l'état gazeux.....	6
Sur les réseaux concaves de M. Rowland.....	7

### ÉLECTRICITÉ.

Supports isolants.....	8
Enregistreur de l'électricité atmosphérique.....	8
Sur l'électrisation de l'air.....	9
Action réciproque de deux sphères électrisées.....	10
Recherches expérimentales sur les machines magnéto-électriques.....	12
Propagation de l'électricité sur les conducteurs.....	12
Sur la théorie des courants d'induction.....	13
Boussole des tangentes.....	14
Équivalent électrochimique de l'argent.....	15
Recherches sur la détermination de l'ohm.....	16

### MAGNÉTISME.

Appareil enregistreur des variations du magnétisme terrestre.....	22
Sur une perturbation magnétique. — Orage magnétique au cap Horn.....	23
Boussole magnétique à induction.....	24
Composante horizontale du magnétisme terrestre à Paris.....	25

### PUBLICATION.

<i>Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme</i> , 1 vol. grand in-8°; Masson, 1882.....	26
--	----



NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. E. MASCART,

PROFESSEUR DE PHYSIQUE GÉNÉRALE AU COLLÈGE DE FRANCE,  
DIRECTEUR DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE.

---

COMPLÉMENT <sup>(1)</sup>.

---

PHYSIQUE GÉNÉRALE ET MÉTÉOROLOGIE.

Sur un baromètre à gravité.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCV, p. 126 et 631; 1882. — *Journal de Physique*, 2<sup>e</sup> série, t. II, p. 341; 1883.)

Les variations de la pesanteur en différents points de la surface du globe peuvent être évaluées par les variations de hauteur de la colonne mercurienne qui fait équilibre à la pression d'une même masse de gaz, dont la température reste constante. L'idée de cette méthode est très ancienne et ne me paraissait pas avoir été mise en pratique. Toutefois, à propos de la première Communication que j'ai présentée, sur ce sujet, à l'Académie des Sciences, M. Boussingault a rappelé que, pendant son séjour à l'Équateur, il avait employé une disposition analogue pour chercher si, dans une même localité, la pesanteur n'éprouverait pas des variations dans son intensité, analogues à celles du magnétisme.

L'appareil dont je me suis servi permet d'évaluer les variations de hauteur de la colonne de mercure à moins de  $\frac{1}{100}$  de millimètre; il est placé

---

(<sup>1</sup>) Voir la Notice précédente. Gauthier-Villars, 1878.

dans un bain d'eau, dont on détermine la température avec un thermomètre divisé en cinquantièmes de degré. Avec une colonne de mercure de 1<sup>m</sup> environ, les erreurs de lecture ne dépassent pas  $\frac{1}{50000}$  de la pression, ce qui correspond à une erreur de même ordre sur la valeur de la gravité. Les changements de température d'une station à l'autre exigent une correction complexe, dont la valeur dépend des dimensions de l'appareil, ainsi que des coefficients de dilatation du gaz, du mercure et du verre, mais cette correction est déterminée d'une manière empirique par des observations faites en un même lieu à différentes températures.

Pour soumettre la méthode à une épreuve décisive, j'ai fait d'abord une série d'observations au Collège de France, puis j'ai transporté l'instrument au Plessis-Piquet, sur un pavillon dont l'altitude est de 180<sup>m</sup> environ. La différence moyenne des lectures a été de 0<sup>mm</sup>,027. La différence de niveau des deux stations étant inférieure à 150<sup>m</sup>, le changement de hauteur du mercure devait être compris entre 2 et 3 centièmes de millimètre, c'est-à-dire de même ordre que celui qui a été donné par l'observation.

J'ai profité ensuite d'un voyage dans le nord de l'Europe, pour observer l'appareil successivement à Hambourg, Stockholm, Drontheim et Tromsø. Les variations de gravité, calculées à partir de Paris, ont présenté un accord remarquable avec la théorie.

Pour les stations de Hambourg, Stockholm et Tromsø, les différences entre l'observation et le calcul sont de 3 à 7 centièmes de millimètre sur la longueur du pendule à seconde, ce qui correspondrait à une erreur de 1<sup>s</sup> à 3<sup>s</sup> sur un intervalle de vingt-quatre heures. La différence pour Drontheim atteignait 10<sup>s</sup>.

Ces premières observations avaient surtout pour but de vérifier si l'appareil est facilement transportable et s'il comporte une approximation de même ordre que l'observation du pendule.

Comme une journée de séjour dans une localité donne le temps de faire une série complète de lectures, j'espère que cette méthode pourra rendre des services, surtout dans les voyages, où l'on n'a ni les loisirs ni les ressources qu'exige l'installation d'un pendule.

#### Méthode pour déterminer l'acide carbonique de l'air.

( *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIV, p. 1389; 1882.)

La quantité d'acide carbonique contenue dans l'air étant d'environ  $\frac{3}{10000}$ , si l'on mesure la pression d'un volume déterminé d'air sec, avant et après

avoir absorbé l'acide carbonique, la différence sera de 30 centièmes de millimètre pour une pression de 1<sup>m</sup>, ou de 1<sup>mm</sup>, 20 pour une pression de 4<sup>m</sup>. La lecture des pressions pouvant être facilement obtenue à moins de 1 centième de millimètre, quand il s'agit de colonnes très voisines et avec l'installation permanente d'un laboratoire, on voit que cette méthode permettrait d'obtenir, à  $\frac{1}{100}$  près, la richesse en acide carbonique d'une masse d'air très limitée, un demi-litre environ.

Pour éviter les corrections de température, on emploie un appareil différentiel. Deux réservoirs de thermomètre à gaz renferment, l'un une quantité permanente d'air sec, l'autre un volume à peu près égal de l'air étudié, préalablement privé de sa vapeur d'eau par l'acide sulfurique, et l'on observe la différence des pressions dans deux branches voisines d'un manomètre différentiel. Par un jeu de robinets et une pompe à mercure, on enlève l'air en le faisant passer dans des tubes qui renferment de la potasse; on le refoule ensuite dans le réservoir qu'il occupait d'abord, et l'on détermine de nouveau la différence des pressions.

Quelques expériences d'essai ont donné des résultats très voisins de ceux que l'on connaît déjà. M. Dumas avait bien voulu examiner cet appareil avec intérêt, au laboratoire du Collège de France; nous n'avions malheureusement plus le temps de prendre les dispositions nécessaires pour que cette méthode fût employée aussi dans les Missions du passage de Vénus et dans celle du cap Horn.

Le matériel à transporter dans ces conditions serait très simple, puisqu'il suffirait de faire une prise d'air, analogue à celles qui avaient été recommandées par Regnault. Il ne me paraîtrait pas inutile de comparer les résultats ainsi obtenus avec ceux que donne l'excellente méthode de MM. Müntz et Aubin, dont l'exactitude est démontrée par les épreuves nombreuses auxquelles elle a été soumise.

#### Sur l'enregistrement des phénomènes météorologiques.

*(Journal de Physique, t. VIII. p. 329: 1879.)*

Dans cette Note sur les avantages que présente un enregistrement continu des phénomènes pour en connaître la marche générale, ainsi que les particularités intéressantes, j'ai signalé une circonstance qui ne me paraît pas avoir été encore remarquée.



Dans les journées d'été, où le ciel se découvre par intervalles avec des pluies de courte durée, surtout par les temps qui ont le caractère orageux, le baromètre subit des variations assez rapides : la pluie, en particulier, est souvent précédée par une baisse du baromètre ; mais, au moment même où la pluie commence à tomber, le baromètre remonte rapidement et d'une quantité qui peut dépasser 1<sup>mm</sup>.

Ces oscillations du baromètre me paraissent un phénomène local, dû aux alternatives de condensation et de dissipation des nuages voisins du lieu d'observation, lesquelles diminuent ou augmentent la pression de la vapeur d'eau. Quant à la hausse du baromètre au début de la pluie, elle peut être due en partie à l'effet mécanique de la chute des gouttes de pluie, mais elle me semble s'expliquer surtout par cette circonstance que, l'air n'étant jamais saturé, les premières gouttes s'évaporent en partie avant d'arriver jusqu'au sol. Il résulterait de ce phénomène que deux pluviomètres, à des hauteurs différentes, en un même lieu, ne doivent pas indiquer la même quantité d'eau tombée, le plus élevé en recevant davantage ; mais l'expérience n'a pas été faite encore dans des conditions assez rigoureusement comparables pour que cette différence ait été bien démontrée.

#### Sur la construction d'une règle géodésique internationale.

(En commun avec H. Sainte-Claire Deville.)

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVIII, p. 210; 1879. — *Ibid.*, t. LXXXIX, p. 558; 1879. — *Annales de l'École Normale*, 2<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 9.)

Mon regretté maître H. Sainte-Claire Deville avait tracé un programme étendu d'expériences de précision relatives à la construction d'une règle géodésique. Il a bien voulu m'associer à ce travail pour les questions qui touchaient plus particulièrement à la Physique. Je citerai seulement les expériences relatives à la dilatation du platine iridié dont les résultats ont été publiés. L'appareil présentait plusieurs dispositions nouvelles.

A l'aide de deux microscopes fixés à des masses de pierre, on comparait alternativement les longueurs de deux tubes de platine iridié : l'un d'eux, servant de témoin, était maintenu dans la glace fondante, l'autre était porté à des températures différentes. Une disposition particulière permettait de laisser à nu des divisions tracées sur les deux tubes et on en évaluait les fractions par les micromètres des microscopes.

La température du tube étudié était maintenue constante par un courant

de vapeur et déterminée par le tube lui-même, transformé en un thermomètre à gaz à pression constante. Le volume du tube avait été déterminé par le poids d'eau qu'il renfermait. Le tube ayant été rempli d'azote sec à la température de zéro, on récoltait le gaz chassé par la dilatation dans un voluménomètre en verre de construction spéciale, qui était maintenu à la température de zéro et à pression constante. On évaluait le volume du gaz ainsi récolté dans le voluménomètre par le poids du mercure déplacé.

On a obtenu pour le coefficient de dilatation de l'azote

$$0,0036675,$$

valeur un peu plus faible que celle qui résulte des expériences de Regnault.

La dilatation du platine iridié a donné, en employant les notations de M. Fizeau,

$$\alpha_{13^{\circ}} = 848,8 \times 10^{-8},$$

$$\alpha_{40^{\circ}} = 870,3,$$

$$\alpha_{50^{\circ}} = 877,9.$$



## OPTIQUE.

Réfraction des corps organiques considérés à l'état gazeux.

*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVI, p. 1182 (1878).

Ce Mémoire est la suite du travail déjà indiqué dans ma précédente Notice, p. 17.

Les expériences ont porté sur dix composés de la série du méthylène, onze composés de la série de l'éthylène et sept autres composés organiques de séries différentes, c'est-à-dire sur tous ceux qui donnent une pression de vapeur notable à la température ordinaire; il m'a été heureusement possible d'obtenir tous ces corps à l'état de pureté, grâce au concours de M. Berthelot et de M. Schützenberger.

Tandis que la réfraction d'un mélange de gaz est égale à la somme des réfractions des gaz qui le constituent, la réfraction des corps composés, au contraire, est généralement plus faible que ne l'indiquerait cette loi. Quatre corps seulement font exception : le protoxyde et le bioxyde d'azote, l'acide hypo-azotique et l'ammoniaque; leur seule propriété commune est de renfermer de l'azote.

On a cherché souvent s'il existait une méthode physique permettant de calculer la réfraction d'un composé par celles des éléments, mais l'expérience a montré que les propriétés optiques des corps solides ou des liquides ne peuvent être liées entre elles, ni par la loi des puissances réfractives, ni par celle des pouvoirs réfringents. Les gaz semblent devoir se prêter à la vérification d'une loi simple.

Dans cet ordre d'idées, on devrait trouver la même réfraction pour les corps qui auraient la même composition élémentaire. Cette relation se vérifie d'une manière assez approchée pour l'alcool éthylique et l'éther méthylique, qui ont la même densité théorique de vapeur, ainsi que pour l'acétylène et la vapeur de benzine ramenée au même poids spécifique; mais ce sont les seuls cas dans lesquels j'ai pu en constater l'exactitude. Tous les autres corps qui se prêtaient au même genre de contrôle, soit directe-

ment, soit par la constitution de mélanges ayant même composition et même densité, ont montré, au contraire, que la différence des réfractions est supérieure aux erreurs expérimentales.

La notion des *équivalents de réfraction*, qui n'a pas résisté au contrôle des expériences pour les liquides et les solides, ne peut pas non plus s'appliquer aux gaz, et les circonstances dans lesquelles se manifestent les défauts d'une pareille loi ne sont pas en relation avec les effets thermiques des combinaisons.

L'exemple des composés de l'azote, où la réfraction est augmentée par la combinaison, mérite peut-être de fixer l'attention, en raison des allures singulières de ce corps et de l'hypothèse émise par quelques chimistes sur la transformation qu'éprouverait l'azote en sortant de ses combinaisons.

#### Sur les réseaux concaves de M. Rowland.

(*Journal de Physique*, 2<sup>e</sup> série, t. II, p. 5: 1883.)

M. Rutherford avait déjà porté à un très haut degré de perfection la construction des réseaux sur métal des miroirs. Dans ces dernières années, M. Rowland a obtenu des réseaux d'un éclat et d'une dimension qui ne paraissent pas avoir été encore réalisés. Quelques-uns de ces réseaux sont tracés sur des miroirs concaves, ce qui permet d'obtenir directement des images réelles de spectres purs, sans l'intervention d'aucun autre appareil d'optique, lentille ou miroir.

La Note précédente renferme une démonstration élémentaire des propriétés des réseaux tracés sur une surface courbe, et la relation qui permet de déterminer la distance à laquelle se produisent les spectres de différents ordres.

## ÉLECTRICITÉ.

### Supports isolants.

(*Journal de Physique*, t. VII, p. 217; 1878.)

L'une des plus grandes difficultés que l'on rencontre dans les expériences d'électricité statique, particulièrement pour les enregistreurs de l'électricité atmosphérique, est d'empêcher la déperdition qui a presque toujours lieu par les supports des appareils. Le moyen le plus efficace, comme l'a montré sir W. Thomson dans la construction de ses électromètres, est d'employer comme supports isolants des tiges de verre entourées d'une atmosphère desséchée par l'acide sulfurique.

J'ai fait construire pour cela des flacons de verre d'une forme particulière, portant une tige centrale dont une partie est placée dans une atmosphère absolument desséchée. Ces flacons isolent d'une manière remarquable, même dans une salle occupée par un nombreux auditoire ou encore quand on les expose à l'air extérieur et à la pluie; ils sont très employés aujourd'hui, surtout pour les isollements de longue durée, comme dans les observations sur l'électricité atmosphérique.

### Enregistreur de l'électricité atmosphérique.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCI, p. 158; 1880. — *Journal de Physique*, t. VIII, p. 329; 1879. — *Ibid.*, t. X, p. 229; 1881.)

Pour obtenir l'inscription continue du potentiel de l'air, j'ai imaginé d'abord (Notice précédente, p. 40) un enregistreur mécanique en utilisant le rouage différentiel de M. Redier. Cet appareil, qui a fonctionné pendant quelque temps au Collège de France, m'a permis de constater deux faits principaux qui ne me paraissent pas avoir encore été reconnus.

Si l'on met à part les variations considérables de potentiel que l'on observe par les temps couverts et qui paraissent dues à l'action directe des nuages électrisés, ainsi que les grandes déviations négatives qui accompagnent presque toujours la pluie, les courbes montrent nettement que :

1° Le potentiel de l'air est toujours positif par rapport au sol, et plus grand la nuit que le jour;

2° La variation diurne est formée principalement par une grande oscillation qui a son minimum dans la journée vers 2<sup>h</sup> de l'après-midi et son maximum dans la nuit, vers 10<sup>h</sup> du soir.

Les progrès qu'a faits récemment la Photographie par l'emploi des papiers au gélatinobromure m'ont permis de construire un enregistreur photographique dans lequel, sans rien sacrifier de la précision, j'ai cherché à réduire autant que possible les frais d'installation et les dépenses d'entretien. Une petite lampe, entretenue par le liquide connu dans le commerce sous le nom de *gazogène*, et qui brûle sans interruption pendant plus de vingt-quatre heures, suffit pour produire sur une feuille de papier deux courbes, dont l'une rectiligne correspond à un repère fixe et dont l'autre reproduit les déviations de l'aiguille d'un électromètre.

Cet électromètre enregistreur, installé à l'Observatoire du parc Saint-Maur et dans plusieurs stations en France, a été utilisé par la mission du cap Horn; il est employé aussi à l'étranger, particulièrement par M. Tacchini, à Rome, et M. Roiti à Florence. Nous publierons prochainement la discussion de résultats obtenus depuis plusieurs années.

L'électromètre lui-même est une modification de l'électromètre à quadrants de sir W. Thomson, dans lequel on a cherché à réaliser les conditions qui permettent de l'installer facilement et avec sécurité. Cet instrument est aujourd'hui très répandu : je citerai seulement l'usage qui en a été fait par la Commission chargée d'étudier les différents appareils de l'Exposition internationale d'électricité.

#### Sur l'électrisation de l'air.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIV, p. 917; 1882.)

Afin de définir les conditions dans lesquelles il conviendrait de se placer pour observer l'électrisation de l'air, j'ai fait quelques expériences sur la manière dont une masse d'air isolée peut conserver son électrisation.

Une bouteille de Leyde était déchargée en dix secondes par une flamme dans l'amphithéâtre du Collège de France.

Un électromètre situé dans une salle voisine, communiquant avec une flamme réceptrice placée à une distance de 8<sup>m</sup> de la décharge, éprouve aussitôt une déviation, qui passe par un maximum au bout de dix à quinze

minutes, puis diminue lentement. La courbe de retour au zéro est une exponentielle analogue à celle du refroidissement, et, au bout de deux heures, le potentiel est encore  $\frac{1}{20}$  de sa valeur maximum.

Quand on diminue les mouvements d'air dus aux flammes en remplaçant la première par une pointe et la deuxième par un écoulement d'eau, la diminution est moins rapide. Le maximum a lieu plus tard ; au bout d'une heure, la perte était seulement de  $\frac{2}{3}$ .

Ces expériences démontrent que la déperdition de l'électricité de l'air se fait de la même manière que le mouvement du gaz lui-même. Si l'on expose en plein air une salle grillée, le gaz intérieur conservera donc son électrisation propre et les mouvements de l'air seront toujours suffisants pour compenser les pertes dues aux parois.

Conformément à ce principe, et d'après la recommandation faite par sir W. Thomson à la Conférence internationale des Unités électriques en 1882, j'ai installé, à l'observatoire du parc Saint-Maur, un petit pavillon dont les parois sont formées par un grillage métallique. Un collecteur d'électricité à écoulement d'eau est disposé de manière que le filet liquide se détache du tube au milieu de l'espace limité par le grillage. On enregistre le potentiel de cet appareil en même temps que le potentiel d'un collecteur semblable dont l'écoulement a lieu à l'air extérieur.

L'expérience a montré que le potentiel dans la chambre grillée est presque toujours de même signe et à peu près proportionnel au potentiel extérieur. M. Roiti a communiqué à la Conférence internationale des Unités électriques, en 1884, les mêmes résultats obtenus par lui à Florence. Il en résulte que le potentiel de l'air en un point n'est pas dû uniquement à des masses électriques éloignées, mais que l'électrisation propre des couches d'air voisines du sol intervient pour une part dans le phénomène.

Nous avons réuni une série continue de courbes relatives à l'électrisation de l'air; les résultats n'ont pas encore été discutés.

#### Action réciproque de deux sphères électrisées.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVIII, p. 222; 1884. — *Journal de Physique*, 2<sup>e</sup> série, t. III, p. 165; 1884.)

En partant de l'idée ingénieuse des images électriques, sir W. Thomson a indiqué des développements en série qui permettent de calculer les masses électriques de deux sphères conductrices voisines en fonction de leurs potentiels, ainsi que leur action réciproque en fonction des masses ou des po-

tentiels. Ces calculs ont été réduits en Tables pour le cas de deux sphères égales dont la distance des centres ne dépasse pas le double de leur diamètre ; mais les séries employées ne sont plus assez convergentes pour des distances plus grandes, en particulier pour celles qui correspondent aux expériences fondamentales de Coulomb.

Il n'existe pas, à ma connaissance, de formules simples ni de Tables qui permettent alors de calculer les phénomènes avec une approximation suffisante. La méthode de sir W. Thomson, simplifiée en quelques points, conduit à des expressions dont l'exactitude paraît répondre à tous les besoins des expériences. Il suffit d'admettre que les images successives provenant de l'induction mutuelle des deux sphères sont respectivement concentrées au point qu'occupe la première de ces images, c'est-à-dire au point conjugué du centre de chaque sphère par rapport à l'autre.

Dans le cas particulier de deux sphères égales, de rayon  $r$ , dont les centres sont à la distance  $d = cr$  et qui ont la même charge  $m$ , c'est-à-dire le même potentiel  $V$ , on a, en appelant  $f$  la répulsion des deux sphères,

$$m = rV \left[ 1 - \frac{c^3 - 1}{c(c^2 + c - 1)} \right],$$

$$f = V^2 \left[ \frac{1}{c^2} - \frac{2c}{(c^2 - 1)(c^2 + c - 1)} + \frac{(c^2 - 1)^2}{(c^2 - 2)^2(c^2 + c - 1)} \right],$$

d'où l'on déduira la valeur de  $f$  en fonction de  $m$ .

Ces formules sont d'autant plus exactes que la distance est plus grande. Pour la valeur  $c = 4$ , qui correspond à la limite des Tables de sir W. Thomson, et qui est ici le cas le plus défavorable, les formules simples donnent déjà l'expression de la force en fonction des masses, par exemple, avec une approximation de  $\frac{1}{3000}$ .

Pour des distances plus grandes, il est avantageux de développer en série les valeurs de  $m$  et de  $f$ . On a ainsi, pour la force répulsive,

$$f = \frac{m^2}{d^2} \left[ 1 - \frac{2}{c^3} \left( 2 + \frac{3}{c^2} - \frac{5}{c^3} + \frac{4}{c^4} - \dots \right) \right].$$

On remarquera, en particulier, que l'expression  $\frac{m^2}{d^2}$  de la force, employée par Coulomb, ne comporte pas une erreur de  $\frac{2}{1000}$  quand on fait seulement  $c = 6$ , c'est-à-dire quand la distance des centres est triple du diamètre des sphères. Les expériences réalisées par Coulomb pour vérifier la loi des distances ont donc une valeur démonstrative beaucoup plus grande que celle qu'on leur a quelquefois attribuée.



### Recherches expérimentales sur les machines magnéto-électriques.

(En commun avec M. Angot.)

(*Journal de Physique*, t. VII, p. 79 et 363; 1878.)

Nous avons cherché, sur des machines de différents types, si l'intensité du courant électrique suit une loi analogue à celle qui est indiquée par des considérations théoriques (Notice précédente, p. 36), suivant que ces appareils sont employés comme moteurs ou comme électromoteurs. Nous avons étudié surtout les types les plus usuels, c'est-à-dire les machines *magnéto-électriques*, formées de deux systèmes d'électro-aimants, et les machines *mixtes*, comprenant des aimants permanents et des électro-aimants.

Les résultats obtenus par de nombreuses expériences avec des machines de modèles très différents ont été entièrement conformes à la théorie.

Pour les machines à courants alternatifs, en particulier, ils confirment le fait observé par M. Jamin sur une machine de *l'Alliance*, que l'intensité moyenne du courant peut être représentée par la loi d'Ohm, à la condition d'ajouter une résistance fictive à la résistance réelle du circuit. Ce résultat peut être attribué en partie aux réactions qui s'exercent entre les aimants et les électro-aimants; mais on sait, depuis les expériences de M. Joubert, qu'il est dû surtout aux effets de self-induction ou d'extra-courants.

La machine de Clarke nous a montré un phénomène curieux dont la cause est sans doute très complexe. En la faisant tourner avec une vitesse progressivement croissante, on vit le courant aller en croissant, passer par un maximum, puis diminuer rapidement, changer de signe, passer de nouveau par un maximum du côté négatif, revenir au zéro, puis prendre encore une valeur positive. La vitesse étant alors excessive, il fut impossible de pousser l'expérience plus loin; mais, en abandonnant la machine à elle-même, le galvanomètre indiqua les mêmes variations lorsque la bobine, en se ralentissant, repassait par les mêmes vitesses.

### Propagation de l'électricité sur les conducteurs.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVI, p. 965; 1878.)

La propagation de l'électricité dans les conducteurs, lorsque le régime permanent est établi, est définie par la loi d'Ohm, qui se déduit directement des principes établis par Fourier pour la propagation de la chaleur par

conductibilité. Une extension naturelle conduit à appliquer aussi les principes de Fourier, relatifs à la propagation de la chaleur dans le cas d'un régime variable, au phénomène électrique correspondant. Les hypothèses fondamentales sont, en effet, les mêmes dans les deux cas, le flux de chaleur entre deux points étant proportionnel à la différence des températures, et le flux d'électricité proportionnel à la différence des potentiels.

Toutefois, cette manière de concevoir la transmission de l'électricité suppose, en toute rigueur, que le potentiel électrique, ou la force électrique, se propage avec une vitesse infinie, ce qui paraît incompatible avec la nature du phénomène physique et avec la conception d'un milieu élastique qui servirait de véhicule à la transmission de la force. Malgré cette restriction, les formules de Fourier sont certainement très voisines de la vérité et elles conduisent à des résultats d'autant plus exacts que les modifications de l'état variable sont plus lentes.

La Note précédente a pour but de traiter quelques problèmes particuliers, tels que ceux qui sont relatifs à la propagation dans les câbles sous-marins et surtout à la propagation dans les conducteurs très résistants, comme des fils de coton ou des colonnes d'huile, qui ont été l'objet d'expériences très ingénieuses de Gauguin.

J'ai examiné les variations du potentiel produites dans un conducteur, soit par la communication permanente d'une de ses extrémités avec une source à potentiel constant, soit par une communication de courte durée, soit par une série de communications de durées inégales avec deux sources à potentiels égaux et de signes contraires. On retrouve ainsi, par une démonstration très simple, la plupart des résultats donnés autrefois par sir W. Thomson, avant même que l'expérience des câbles transatlantiques eût fourni l'occasion de les observer.

#### Sur la théorie des courants d'induction.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XC. p. 981; 1880.)

A peu près à la même époque, M. Helmholtz et sir W. Thomson ont montré que l'existence des phénomènes d'induction est une conséquence nécessaire du principe de la conservation de l'énergie, si l'on admet que les lois d'Ampère, de Faraday et de Joule restent exactes, c'est-à-dire que le champ magnétique est toujours proportionnel à l'intensité du courant, que l'énergie chimique fournie par les piles est proportionnelle à l'intensité du

courant, et que la chaleur dégagée dans le circuit est proportionnelle au produit du carré de l'intensité par la résistance.

Cette démonstration, qui s'applique directement au cas d'un circuit en présence duquel se déplace un système électromagnétique, peut être généralisée quand on y introduit la notion de lignes de force imaginée par Faraday, ou, en d'autres termes, la considération du flux total de force qui traverse un circuit. Par une série d'analogies qui paraîtront sans doute évidentes aux physiciens, on peut alors établir les équations différentielles qui déterminent les effets d'induction produits par le déplacement ou les variations d'un courant voisin, ainsi que l'induction d'un courant sur lui-même, ou les effets d'extra-courant.

#### Boussole des tangentes.

(*Journal de Physique*, 2<sup>e</sup> série, t. I, p. 222, 1882.)

Despretz a constaté le premier, par expérience, que l'intensité du courant, dans une boussole des tangentes de Pouillet, n'est pas exactement proportionnelle à la tangente de la déviation lorsque l'aiguille a une longueur notable par rapport au diamètre du cercle sur lequel est enroulé le fil.

D'autre part, Gauguain a trouvé que la loi des tangentes est très sensiblement exacte lorsque l'aiguille est située sur l'axe du cercle, à une distance égale à la moitié du rayon, et il a imaginé un cadre à enroulement conique pour mettre à profit cette propriété, mais ce mode de construction compliqué n'a pas été adopté.

De la Provostaye et Blanchet ont montré que ces résultats sont des conséquences de la loi électromagnétique d'Ampère. La Note précédente a pour but de calculer, par une méthode plus simple, le couple produit par l'action d'un courant circulaire sur une aiguille aimantée dont le centre est situé sur l'axe du courant. Les formules qui donnent l'action d'une couche uniforme circulaire sur un point extérieur permettent d'obtenir directement, par l'assimilation des courants aux feuillets magnétiques, l'action exercée au même point par un courant qui suit le contour de la couche; le premier terme obtenu par le développement de la série donne naturellement la formule de Blanchet.

## Équivalent électrochimique de l'argent.

*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIII, p. 50; 1881. — *Journal de Physique*, 2<sup>e</sup> série, t. I, p. 109; 1882. — *Ibid.*, t. III, p. 283; 1884.)

La mesure en valeurs absolues de l'action chimique exercée par un courant présente, en dehors de son intérêt théorique, une grande importance au point de vue pratique, parce qu'elle peut fournir un étalon qui permette à chaque physicien de connaître rapidement par électrolyse l'intensité absolue d'un courant.

Les diverses expériences faites à ce sujet ne présentent pas un accord suffisant, soit que le phénomène choisi pour l'opération chimique se prête mal à des déterminations exactes, soit que la mesure du courant lui-même donne lieu à des causes d'erreur.

J'ai étudié d'abord dans quelles conditions on doit observer la décomposition de l'eau pour obtenir des résultats concordants. La meilleure disposition paraît être d'employer de l'eau acidulée par l'acide phosphorique, pour empêcher la formation d'ozone, et des électrodes à petite surface pour éliminer la condensation des gaz à la surface des électrodes, et enfin de récolter les gaz par une pompe à mercure pour n'avoir pas à tenir compte de leur dissolution dans l'eau.

Toutefois, pour passer des volumes aux poids, il faut faire intervenir les densités des gaz, ce qui introduit une nouvelle cause d'erreur.

L'électrolyse des solutions métalliques permet d'utiliser directement la balance. L'azotate d'argent à 15 pour 100, avec des électrodes d'argent pur, est l'électrolyte qui paraît le mieux convenir; j'ai constaté en outre qu'avec des précautions particulières le poids d'argent déposé sur une des électrodes est égal à la diminution de poids de l'autre électrode, ce qui est un contrôle très rigoureux des expériences.

La mesure du courant par les méthodes généralement employées exige que l'on détermine en même temps la composante horizontale du magnétisme terrestre au point même où se trouve une boussole des tangentes. Cette dernière détermination présentant les plus grandes difficultés, je me suis servi d'un électrodynamomètre-balance dans lequel le carré de l'intensité du courant est proportionnel aux poids nécessaires pour rétablir l'équilibre. Cet électrodynamomètre se compose d'une bobine cylindrique suspendue au fléau d'une balance et de deux bobines circulaires plates placées à la hauteur d'une des bases de la bobine cylindrique. À l'aide d'une série

rapidement convergente on peut calculer, par les dimensions des deux systèmes de bobines, l'action réciproque pour l'unité de courant.

Un premier calcul fait par une méthode plus longue m'avait conduit au nombre 11<sup>mgr</sup>, 24 pour le poids d'argent déposé en une seconde par l'unité de courant; mais j'ai reconnu (deuxième Mémoire) qu'une erreur de calcul avait été commise. En reprenant les nombres de l'expérience par la nouvelle formule, j'ai obtenu une valeur plus faible de  $\frac{1}{100}$  environ. La même détermination avait été faite par MM. Kohlrausch et par lord Rayleigh, en employant la boussole des tangentes.

Il résulte de ces expériences que l'action chimique d'un ampère par seconde, ou l'action d'un coulomb, est

	Argent réduit ou dissous.	Eau décomposée.
	<sup>mgr</sup>	<sup>mgr</sup>
D'après Kohlrausch.....	1,1183	0,09325
» Rayleigh.....	1,118	0,09323
» Mascart.....	1,1156	0,09303

Les résultats de MM. Kohlrausch et de lord Rayleigh peuvent être considérés comme absolument concordants; le mien est plus faible d'environ  $\frac{1}{500}$ . La moyenne 1,117 donne donc, à moins de  $\frac{1}{500}$  près, la valeur de l'équivalent électrochimique de l'argent. D'après lord Rayleigh lui-même, les difficultés que présente le phénomène chimique ne permettent guère de dépasser cette approximation.

#### Recherches sur la détermination de l'ohm.

(En commun avec MM. F. de Nerville et R. Benoit.)

*« Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. XCVIII, p. 1634; 1884. — Journal de Physique, 2<sup>e</sup> série, t. III, p. 230; 1884. »*

Le Congrès international des Électriciens, réuni à Paris en 1881, décida que l'unité de résistance électrique (ohm) serait représentée par une colonne de mercure de 1<sup>mmq</sup> de section et d'une longueur à déterminer par expérience. La Commission internationale des unités, en 1882, a été d'avis que les expériences faites jusqu'alors ne présentaient pas un degré de concordance suffisant pour permettre de fixer cette longueur avec une approximation connue, et décida qu'on attendrait le résultat de nouvelles expériences. C'est afin de répondre à ce programme que nous avons entrepris

une série de recherches, comprenant tous les éléments nécessaires pour déterminer la longueur de mercure à zéro qui représente l'unité de résistance pratique ou la valeur de l'ohm.

La résistance absolue d'un circuit conducteur a été mesurée par le courant induit qui s'y développe quand on déplace ce circuit dans le champ magnétique terrestre (première méthode de Weber), ou quand on le soumet à l'action d'un courant voisin (méthode de Kirchhoff). Ces deux méthodes avaient pour nous l'avantage de présenter plusieurs caractères communs et de comporter l'emploi des mêmes instruments, de manière à se prêter un contrôle réciproque.

Pour éliminer, autant que possible, les erreurs systématiques, nous avons construit 5 bobines, dont 2 étaient recouvertes de plusieurs fils distincts, et l'on a utilisé 17 combinaisons différentes, à vrai dire inégalement avantageuses.

Ces bobines, de deux grandeurs différentes, sont formées par des cadres en acajou, à gorge rectangulaire, construits de manière à résister, autant que possible, aux déformations du bois.

Dans la méthode de Weber, on doit faire tourner la bobine mobile exactement de  $180^\circ$  autour d'un axe vertical et à partir d'un plan perpendiculaire au méridien magnétique. Des supports spéciaux, munis de tous les organes de réglage, permettaient de placer d'abord la bobine dans un plan normal au méridien, puis de lui donner, en un temps très court, une rotation de  $180^\circ$ ; on mesurait alors l'impulsion imprimée à l'aiguille d'un galvanomètre balistique.

On transformait ensuite la bobine elle-même en boussole des tangentes et, à l'aide d'un courant auxiliaire, on observait les déviations simultanées produites dans le cadre et dans le galvanomètre balistique.

Le rapport de ces déviations, observées directement ou par l'intermédiaire d'un shunt, suivant les cas, permettait d'éliminer la constante du galvanomètre balistique, ainsi que le rapport des composantes du magnétisme terrestre sur les deux instruments.

En dehors des déviations observées, de l'impulsion du galvanomètre balistique, exprimée en valeurs angulaires absolues, et de la durée des oscillations de l'aiguille dans ce dernier instrument, la détermination de la résistance absolue du circuit n'exige plus que la connaissance de la surface électromagnétique de la bobine et de sa constante galvanométrique. Ces deux quantités se calculent aisément par la longueur totale du fil enroulé, le nombre de tours et les dimensions de la gorge.

La longueur totale du fil a été mesurée, pendant l'enroulement lui-même, à l'aide d'un appareil spécial, installé au Collège de France, dont il serait trop long d'indiquer ici la disposition, mais qui permettait de mesurer le fil, sur une base rectiligne de 28<sup>m</sup> de longueur, en lui conservant la tension même qu'il avait pour l'enroulement.

Enfin, avant et après chaque expérience, la résistance du circuit était comparée avec des résistances-étalons, maintenues soit à zéro, soit à une température connue, afin de conserver un témoin matériel des différentes mesures.

Pour employer la méthode de Kirchhoff, on a utilisé deux bobines de grandeurs différentes, disposées de façon qu'elles eussent le même centre et le même plan moyen. L'induction est produite alors par le courant d'une pile constante dont on change brusquement le signe dans une des bobines par un commutateur à inversion. On observe l'intensité du courant inducteur dans une boussole des tangentes, l'impulsion que le courant induit imprime à l'aiguille d'un galvanomètre balistique et la durée des oscillations de cette aiguille. On élimine encore les constantes galvanométriques et les valeurs de la composante horizontale du magnétisme terrestre sur les deux galvanomètres en observant les déviations produites par un courant commun. Il suffit alors de connaître le coefficient d'induction mutuelle des deux bobines pour déduire des observations la résistance absolue du circuit. On compare encore cette résistance, avant et après chaque expérience, avec des résistances étalons.

Le coefficient d'induction mutuelle de deux bobines concentriques peut être déterminé à l'aide des fonctions elliptiques qui deviennent relativement simples quand les dimensions des gorges sont petites par rapport au rayon moyen, mais ces formules conduisent à des calculs extrêmement pénibles qui ne présentent pas de contrôle dans le cours des opérations et dont il est difficile de connaître l'exactitude finale. Le calcul est beaucoup plus rapide par l'emploi d'une série développée suivant les puissances croissantes du rapport des rayons moyens. Outre l'avantage de voir dans la suite du développement l'ordre d'approximation auquel on doit s'arrêter, l'économie de temps est considérable et le contrôle des opérations est continu.

Un problème intéressant se présente lorsque, dans une des bobines à fils multiples, ces différents circuits sont réunis en dérivation partiellement ou en totalité. La quantité d'électricité induite, dans ce cas particulier, se détermine de la même manière que si l'on voulait traiter le problème correspondant du partage des courants constants dans le même circuit, grâce à

cette circonstance que l'intensité du courant induit est nulle au début et à la fin de l'expérience.

Alors, quand on a calculé la surface et le coefficient galvanométrique de chacun des fils distincts, on peut aisément en déduire la surface résultante et le coefficient galvanométrique du circuit formé par un groupement quelconque de ces différents circuits.

Un raisonnement analogue permet de calculer le coefficient d'induction mutuelle d'une bobine simple avec une bobine à fils multiples, groupés de différentes manières, quand on a déterminé d'abord le coefficient d'induction mutuelle de la première bobine avec chacun des circuits qui constituent la bobine complexe.

Les résistances des étalons provisoires, étant ainsi déterminées en valeurs absolues par les expériences d'induction, ont été ensuite comparées à celles de colonnes de mercure de dimensions connues, observées à la température de zéro. Cette partie du travail a été confiée particulièrement à M. Benoit qui l'a exécutée avec le plus grand soin, d'après les méthodes suivies au pavillon de Breteuil pour le calibrage des thermomètres à mercure. Quatre tubes de verre, divisés en millimètres, ont été calibrés, puis coupés à une longueur telle que leur résistance à zéro fût sensiblement égale à celle des étalons de l'Association britannique employés dans les expériences électriques. La comparaison de ces résistances a été faite dans une série d'expériences formant un cycle fermé et l'on a tenu compte de toutes les corrections, particulièrement de la résistance complémentaire qu'il faut ajouter à la résistance propre des tubes à mercure pour représenter l'effet de leur communication avec la masse de mercure dans laquelle ils aboutissent. L'expérience a montré que l'exactitude de la correction théorique se vérifie avec une grande approximation.

On a constaté aussi que la résistance des tubes, ainsi que leur volume déduit du mercure qu'ils contiennent, ne varie pas d'une manière appréciable suivant que le remplissage a lieu dans le vide ou dans l'air à la pression ordinaire.

Cette série de recherches a conduit à plusieurs déterminations accessoires.

Les surfaces électromagnétiques des différentes bobines ont été calculées directement par la longueur du fil enroulé sur chacune d'elles et par le nombre de tours. On peut contrôler leurs valeurs par une comparaison électrique des différentes surfaces. Cette comparaison a été faite par des méthodes qui me paraissent n'avoir pas encore été indiquées.



1° Comme les bobines, surtout avec les fils multiples, donnaient lieu à un grand nombre de combinaisons, on pouvait associer deux groupes différents, de manière à constituer deux systèmes dont la somme des surfaces fût à peu près la même. On s'est procuré alors une série de bobines de surfaces beaucoup plus petites, avec lesquelles on pouvait achever d'établir l'équivalence.

Toutes les bobines étant montées parallèlement entre elles sur un même axe, vertical ou horizontal, on réunissait les deux systèmes bout à bout en un seul circuit, renfermant un galvanomètre balistique, de façon que pour un même courant leurs surfaces dirigées d'un certain côté fussent respectivement de signes contraires. Si l'équivalence est établie, l'action du champ terrestre ne produit aucun courant induit dans l'ensemble des deux systèmes, quand on le fait tourner d'un angle quelconque; s'il y a courant, le sens de ce courant indique quel est celui des deux systèmes dont la surface est la plus grande. Cette comparaison par un courant nul comporte une grande précision, parce qu'en peut multiplier par des mouvements alternatifs l'impulsion qui résulterait d'un défaut très faible d'équivalence.

2° Au lieu d'utiliser le champ terrestre, on peut placer les bobines à poste fixe dans le champ sensiblement uniforme dû au courant qui traverse un fil enroulé sur deux cadres formés par des octogones de 1<sup>m</sup> de côté, placés à une distance convenable l'un de l'autre.

L'équilibre apparent des surfaces des deux systèmes est établi lorsque l'inversion du courant qui passe dans les deux grands cadres ne produit aucun effet d'induction. On en déduit alors, par quelques termes de correction, le rapport des surfaces réelles.

3° Enfin on peut ramener la comparaison de deux surfaces à la comparaison de deux résistances. Les deux bobines à comparer sont montées sur le même axe et on les réunit séparément aux deux fils d'un galvanomètre différentiel, de façon que les courants induits par la terre, quand on les fait tourner ensemble autour de l'axe, produisent respectivement des déviations de sens contraires. On ajoute alors au circuit le plus actif des résistances croissantes jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Lorsque cette condition est réalisée, le rapport des deux surfaces est égal au rapport des résistances totales des deux circuits.

Ces différentes méthodes ont montré que les surfaces calculées par les dimensions du fil et des gorges étaient exactes au degré d'approximation nécessaire pour la suite des recherches.

Nous avons été conduit à déterminer l'influence de la température sur la

résistance des différents échantillons d'alliages (maillachort ou platine-argent), employés dans la construction des étalons de résistance. Les nombres que nous avons obtenus sont en général plus faibles que ceux qu'on adopte habituellement.

Le mercure devait être étudié avec des soins particuliers. Si l'on représente la résistance apparente  $R$  du mercure dans le verre, à la température  $t$ , en fonction de la résistance  $R_0$  à zéro par la formule

$$R = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2),$$

on a

$$\alpha = 0,0008649,$$

$$\beta = 0,00000112.$$

Les étalons formés avec un métal solide ou un alliage présentent surtout l'inconvénient, indépendamment des variations qu'ils peuvent éprouver avec le temps, qu'il est difficile d'en connaître exactement la température. Nous avons construit un appareil en verre qu'on remplit de mercure dans le vide, qui est facilement transportable et dont on peut connaître la température avec une exactitude absolue.

Les dix-sept combinaisons de bobines qui ont été employées ne présentaient pas toutes les mêmes conditions d'exactitude et l'on a surtout répété les mesures avec celles qui paraissaient plus avantageuses.

On en a déduit la longueur de la colonne de mercure de 1<sup>mm</sup> de section dont la résistance à zéro représente la valeur de l'ohm. La moyenne des observations faites par la méthode de Weber différait extrêmement peu de la moyenne obtenue par la méthode de Kirchhoff, et l'ensemble de toutes les expériences a conduit au nombre 106<sup>e</sup>,3.

Cette valeur s'est trouvée très voisine de celles qu'ont obtenues lord Rayleigh (106,28 et 106,24), M. Wiedeman (106,19), M. Lenz (106,13) et M. Lorenz (106,19).

Toutefois d'autres expérimentateurs, soit par les mêmes méthodes, soit par la méthode d'amortissement, sur laquelle je reviendrai plus loin, ont obtenu des résultats notablement inférieurs à 106<sup>e</sup>. La Conférence internationale a adopté, pour la définition de l'ohm pratique, cette dernière valeur qui est un nombre rond et se trouvait être la moyenne générale des observations.

## MAGNÉTISME.

Appareil enregistreur des variations du magnétisme terrestre.

(*Journal de Physique*, t. X, p. 229; 1881.)

Cet enregistreur a la même horloge et le même cadre photographique que l'enregistreur destiné à l'électricité atmosphérique. Une lampe unique, placée dans une lanterne qui porte trois lentilles et trois fentes, envoie de la lumière sur trois appareils différents (déclinomètre, bifilaire et balance magnétique), et trois images, revenant ensuite par des réflexions convenables sur le même papier photographique, y tracent les courbes de variation des trois éléments du magnétisme terrestre (déclinaison, composante horizontale et composante verticale), avec trois lignes de repère.

Les appareils magnétiques eux-mêmes sont réduits à leurs parties essentielles, en conservant tous les moyens de réglage et de graduation. On peut déterminer ainsi directement la valeur angulaire des déplacements de l'image du déclinomètre, et un aimant auxiliaire, qui peut être placé à la même distance des trois appareils magnétiques, permet de déterminer quelle est la fraction de la composante horizontale ou de la composante verticale indiquée par le déplacement de l'image correspondante.

Ici encore on a cherché à réduire autant que possible les frais de construction de l'instrument et surtout les frais d'entretien; la dépense totale d'éclairage et de photographie n'atteint pas 1<sup>fr</sup> par jour, condition essentielle pour que ces observations se généralisent autant qu'il serait nécessaire pour connaître les variations du magnétisme terrestre sur le globe.

Cet enregistreur fonctionne depuis trois ans au parc Saint-Maur.

La mission du cap Horn a pu installer un enregistreur semblable dans cette station isolée, où toute ressource locale faisait absolument défaut, et les officiers de la mission en ont rapporté une série ininterrompue de courbes photographiques représentant la marche des éléments magnétiques pendant toute la durée de leur séjour.

Nous pouvons même ajouter avec satisfaction que l'expédition française s'est trouvée la seule des expéditions polaires internationales qui ait pu réaliser cet enregistrement continu. Les résultats obtenus par la mission sont actuellement sous presse.

Le même enregistreur a été employé par M. Blavier pour l'étude si remarquable qu'il a faite récemment sur les courants telluriques : en outre, les courbes magnétiques du parc Saint-Maur ont permis à ce savant d'établir les relations qui existent entre les courants telluriques et les variations du magnétisme terrestre.

**Sur une perturbation magnétique. — Orage magnétique au cap Horn.**

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIV, p. 1173; 1882. — *Ibid.*, t. XCVI, p. 329; 1883.)

Pendant la période d'essai de l'enregistreur précédent, une occasion s'est présentée pour contrôler sa marche en temps d'orages magnétiques : c'est la série de perturbations qui se sont manifestées en France pendant le mois d'avril 1882.

L'examen des courbes obtenues par un appareil installé provisoirement dans les caves du Collège de France a montré que, depuis le 6 avril, les trois éléments magnétiques éprouvaient des variations notables. Le 13 avril, à 11<sup>h</sup>15<sup>m</sup> du soir, se place le début d'un véritable orage magnétique qui ne cesse que le 24. Le 20 avril, où s'est produit le plus grand trouble, la déclinaison a varié de 40', les composantes horizontale et verticale de 0,01 en valeur relative. Les documents font défaut pour comparer cette perturbation avec celles qui ont pu se produire en France à des époques antérieures, mais la grandeur des variations montre qu'elle était d'une énergie exceptionnelle, et depuis lors aucune n'a présenté la même intensité.

Vers le milieu de novembre de la même année, l'enregistreur, installé cette fois à l'observatoire du parc Saint-Maur, a signalé encore l'existence d'un orage magnétique important.

Nous savions que l'enregistreur du cap Horn devait être en fonction, et il était précieux de savoir comment s'était manifesté le phénomène dans deux stations si éloignées. Une lettre du regretté M. Payen, lieutenant de vaisseau, qui était particulièrement chargé des enregistreurs, nous permit de constater que la perturbation à Paris et au cap Horn s'était manifestée au même moment, à moins d'un quart d'heure près, et la discussion plus complète des courbes a montré que l'intervalle des deux effets ne dépassait pas quelques minutes. C'est donc là une des observations les plus démonstratives pour prouver que les perturbations magnétiques ont lieu presque au même instant sur toute la surface du globe.

### Boussole magnétique à induction.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVII, p. 1191; 1883.)

L'inductomètre de Weber permet de déterminer l'inclinaison magnétique par le rapport des quantités d'électricité induites, sous l'influence de la Terre, dans un circuit que l'on fait tourner de  $180^\circ$  successivement autour d'un axe horizontal à partir de l'horizon, et autour d'un axe vertical à partir d'un plan perpendiculaire au méridien magnétique; le rapport des impulsions d'une aiguille de galvanomètre donne le rapport des deux composantes verticale et horizontale du magnétisme terrestre et, par suite, la tangente de l'inclinaison.

Pour obtenir un angle d'impulsion mesurable avec une certaine approximation, on est obligé de donner à l'appareil des dimensions assez grandes, et l'exactitude avec laquelle on détermine l'inclinaison dépend des erreurs relatives commises sur la lecture de deux arcs d'impulsion.

La méthode devient plus précise quand on cherche la direction autour de laquelle on doit faire tourner la bobine pour que le courant d'induction soit nul; cette direction est exactement celle du champ magnétique terrestre. Si l'axe de rotation de la bobine est écarté de cette direction dans un sens ou dans l'autre, les courants induits par le même déplacement autour de l'axe sont de signes contraires; on arrive rapidement, par une série de tâtonnements réguliers, à la direction cherchée. En outre, si l'on donne à la bobine des mouvements alternatifs de même période que celle des oscillations de l'aiguille du galvanomètre, on multiplie les angles d'impulsion et l'on parvient à mettre en évidence des courants induits qui seraient restés inaperçus pour une seule opération.

On peut alors diminuer beaucoup les dimensions de la bobine et donner au galvanomètre le maximum de sensibilité, sans se préoccuper de la loi des écarts, puisqu'on emploie une méthode de réduction à zéro. L'appareil ainsi construit a les dimensions d'une petite boussole d'inclinaison; il est muni d'un niveau pour le réglage et s'installe comme un théodolite.

L'expérience a montré que la valeur de l'inclinaison déterminée par cet appareil ne diffère pas de plus d'une minute de celle qu'on obtient par les meilleures boussoles à aiguille; on sait d'ailleurs que ces derniers instruments ne permettent pas d'obtenir une approximation plus grande.

## Composante horizontale du magnétisme terrestre à Paris.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIX, p. 232; 1884.)

L'organisation d'un service régulier d'observations magnétiques au parc Saint-Maur exigeait une détermination absolue de la composante horizontale. Cette mesure a été faite par la méthode de Gauss, avec des précautions particulières. La méthode s'appuie sur cette loi que l'action d'un aimant sur un point de son axe, ou du plan moyen perpendiculaire à l'axe, est exprimée par deux termes, dont l'un est en raison inverse du cube, et l'autre en raison inverse de la cinquième puissance de la distance. Le second terme, déterminé par expérience, se déduit des déviations produites par le barreau à deux distances différentes sur une aiguille de déclinaison.

La difficulté principale de la méthode consiste dans la détermination de ce second terme; pour le connaître avec une approximation suffisante, il faut que les déviations soient mesurées avec une exactitude qu'il serait bien difficile d'obtenir ailleurs que dans une installation permanente. Comme ce terme ne renferme que les dimensions du barreau déviant et du barreau dévié et ne dépend pas de l'intensité d'aimantation, c'est une constante pour chaque instrument; un appareil spécial, construit par MM. Brunner, nous a permis de le déterminer pour plusieurs boussoles différentes.

Une seconde difficulté tient à la mesure du moment d'inertie du barreau déviant, qu'on doit ensuite faire osciller sous l'influence de la Terre. Il m'a semblé que la méthode la plus précise était de donner au barreau une forme géométrique simple, parallélépipède ou cylindre, et de calculer le moment d'inertie par son poids et ses dimensions. La concordance des résultats obtenus avec des barreaux différents justifie cette manière de voir.

Une vingtaine de séries complètes d'observations relatives à la mesure de la composante horizontale, chacune d'elles comprenant l'emploi de deux barreaux déviants, a été faite avec le plus grand soin par M. Moureaux, et tous les résultats ont été ramenés à la même date, à l'aide des variations indiquées par l'enregistreur magnétique. On a obtenu, pour valeur moyenne de la composante horizontale, en unités C. G. S., le 1<sup>er</sup> juillet 1884,

$$H = 0,19414 \pm 0,00012.$$

Comme les plus grandes erreurs correspondent à des époques de troubles magnétiques, l'erreur probable est en réalité inférieure à 0,0001.

## PUBLICATION.

## Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme.

( En commun avec M. Joubert. — G. Masson, éditeur: 1882. )

Cet Ouvrage a pour point de départ les Leçons que j'ai professées au Collège de France pendant plusieurs années. Le but que nous nous sommes proposé était surtout de présenter l'ensemble des travaux modernes sur l'Électricité et le Magnétisme sous la forme la plus simple. Le mérite d'une telle publication tient surtout à la clarté des idées et à l'enchaînement des démonstrations : c'est un point qu'il ne m'appartient pas d'apprécier ici, mais plusieurs chapitres nous paraissent avoir un caractère original, soit comme fond, soit comme mode d'exposition.

Je citerai seulement, dans le chapitre consacré aux diélectriques, la loi de réfraction du flux de force qui, à notre connaissance, n'avait pas encore été énoncée. Cette loi permet en particulier d'expliquer le phénomène de réfraction de l'étincelle électrique que j'ai constaté autrefois (*Traité d'Électricité statique*, t. II, p. 112). La loi de réfraction s'applique également à la propagation de la chaleur entre deux milieux pour un régime permanent et à la transmission des forces magnétiques.

Le second volume, actuellement sous presse, est consacré à la discussion des méthodes de mesure et à la description des phénomènes. Il renferme, par exemple, le calcul de l'action électromagnétique d'une bobine dans tous les cas où il peut être effectué par les fonctions elliptiques ou par des séries rapidement convergentes. Nous y avons donné encore, soit par les méthodes connues, soit par des méthodes nouvelles, le calcul des coefficients d'induction mutuelle ou de self-induction.

Nous avons examiné avec soin les principes de la méthode d'amortissement imaginée par Weber et employée par plusieurs physiciens pour déterminer l'unité de résistance. On suppose que la durée des oscillations est constante et que les amplitudes diminuent en progression géométrique, ce qui est sensiblement vérifié par l'expérience ; mais cette forme de mouvement n'est qu'une solution approchée de l'équation différentielle, qui est du troisième ordre. Les oscillations ne sont donc pas rigoureusement isochrones et il paraît difficile de fixer la limite de l'erreur qu'entraîne l'hypothèse d'un isochronisme exact.

L'observation simultanée des déviations produites par un même courant dans une bobine à suspension bifilaire et dans une boussole de tangentes permet de déterminer l'intensité du courant ou la composante horizontale du champ terrestre, sans qu'il soit nécessaire de faire des déterminations magnétiques; cette méthode a été utilisée en particulier par M. F. Kohlrausch. Toutefois la nécessité d'avoir recours à deux instruments différents complique l'expérience et entraîne l'obligation d'observer dans une enceinte absolument privée de magnétisme local, à moins de déterminer en outre le rapport des composantes aux deux points où ils se trouvent.

Sir W. Thomson a indiqué le moyen de réunir les deux appareils en un seul en rendant mobile le cadre d'une boussole des tangentes, par une suspension filaire ou unifilaire, et observant les déviations du cadre et de l'aiguille. Cette idée ingénieuse n'a jamais été mise en pratique, sans doute parce qu'il est très difficile de donner au cadre des dimensions convenables pour que les deux déviations à observer soient du même ordre de grandeur. J'ai tourné la difficulté en plaçant l'aiguille en dehors du cadre mobile, dans le plan moyen ou sur l'axe de ce cadre. Dans ces conditions, la bobine peut porter un grand nombre de tours de fil, ce qui permet d'employer une suspension qui ait un grand couple de torsion, et l'on modifie à volonté la distance de l'aiguille au cadre. Deux lunettes permettent à un seul observateur de lire les déplacements des échelles dans deux miroirs différents. Je n'ai fait jusqu'à présent que des expériences préliminaires; un appareil définitif, actuellement en construction, portera une bobine de dimensions connues, avec tous les moyens de rectification pour régler les positions de la bobine et de l'aiguille et mesurer la distance de cette dernière au centre de la bobine. Nous avons donné d'ailleurs toutes les formules nécessaires pour calculer en valeurs absolues l'intensité du courant et la composante horizontale du magnétisme terrestre par les déviations observées et les dimensions de l'appareil.



