

Auteur ou collectivité : Du Moncel, Théodore

Auteur : Du Moncel, Théodore (1821-1884)

Titre : Notice sur les travaux scientifiques de M. Th. du Moncel

Adresse : Paris : Gauthier-Villars, 1873

Collation : 1 vol. (58 p.) : ill. 27 cm

Cote : CNAM-BIB 4 B 65 (112)

Sujet(s) : Du Moncel, Théodore (1821-1884) (compte) -- Bibliographie ; Électricité --

Bibliographie ; Électromagnétisme -- Bibliographie

Note : Fait partie d'un recueil factice dont les pièces sont cotées 4 B 65 (102) à (115). 4 B 65 (112)

Langue : Français

Date de mise en ligne : 03/10/2014

Date de génération du PDF : 11/7/2017

Permalien : <http://cnum.cnam.fr/redir?4B65.112>

4° B 65 (112)

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. TH. DU MONCEL,

OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR ET DE L'ORDRE DE SAINT-WLADIMIR DE RUSSIE,
INGÉNIEUR - ÉLECTRICIEN DE L'ADMINISTRATION DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES FRANÇAISES,
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE, DU CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE,
DIRECTEUR PERPÉTUEL DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES NATURELLES DE CHERBOURG, ETC., ETC.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

—
1873

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. TH. DU MONCEL.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES.

Mes principales publications scientifiques sont :

1° Mon *Exposé des applications de l'électricité*, ouvrage en cinq volumes aujourd'hui à sa troisième édition. Les deux premiers volumes de la nouvelle édition sont consacrés à la Technologie électrique, c'est-à-dire aux connaissances nécessaires pour bien appliquer l'électricité; c'est en quelque sorte la partie théorique et réellement scientifique de l'ouvrage; les trois autres volumes se rapportent aux applications électriques proprement dites, c'est-à-dire à l'application de l'électricité à la télégraphie, aux chemins de fer, à l'horlogerie, aux appareils de précision, aux arts et à l'industrie. Chaque volume grand in-8° compte plus de 500 pages.

2° Ma *Notice sur l'appareil d'induction de Ruhmkorff*, ouvrage de 400 pages, dont je prépare en ce moment la sixième édition. Dans cet ouvrage, traduit d'ailleurs en allemand, je traite toutes les questions relatives à l'électricité de haute tension, et je rapporte tous les phénomènes auxquels donnent lieu les courants issus de cette ingénieuse machine, ainsi que les applications qu'on peut en faire.

3° Mon *Étude du magnétisme*, dans laquelle je relate toutes les expériences que j'ai faites dans le but d'augmenter l'énergie des électro-aimants et de

relier les effets qu'ils produisent à la théorie d'Ampère et à celle du diamagnétisme (volume de 300 pages).

4° Mes *Recherches sur les meilleures conditions de construction des électro-aimants*, ouvrage dans lequel je discute mathématiquement ces conditions, et qui permet, au moyen de formules simples, de déduire dans tous les cas possibles les dimensions des électro-aimants et la résistance de leur hélice magnétisante pour fournir l'effet maximum (volume de 132 pages).

5° Mon *Traité de Télégraphie électrique*, dans lequel je réunis en un volume de 600 pages toutes les questions relatives à cette branche si importante des applications électriques.

Enfin une foule de brochures, dont les principales sont intitulées : *Étude des lois des courants au point de vue des applications électriques*; *Recherches sur les constantes voltaïques*; *Recherches sur les transmissions électriques à travers le sol*; *Mémoire sur les courants induits des machines magnéto-électriques*; *Recherches sur la non-homogénéité de l'étincelle d'induction*; *Notice historique et théorique sur le tonnerre et les éclairs*; *Considérations sur l'électromagnétisme*; *Des observations météorologiques et de la manière dont il faut les faire*; *Mémoire sur les anémomètres*; *Théorie des éclairs*; *Projection des principaux phénomènes de l'optique à l'aide des appareils de M. J. Duboscq*; *Recherches sur les effets produits dans les piles à bichromate de potasse*; *Notice sur le câble transatlantique*; *Revue de la Télégraphie à l'Exposition de 1867*; *Perspective apparente*, et une foule d'articles et rapports publiés dans différents recueils, tels que la *Revue contemporaine*, le *Cosmos* et les *Mondes*, les *Annales télégraphiques*, le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, les *Mémoires de la Société des Sciences naturelles de Cherbourg et de l'Académie de Caen*, l'*Encyclopédie du XIX^e siècle*, le journal *la Science*, etc., etc.

Dans un autre genre d'études, j'ai publié encore quelques ouvrages dont les principaux sont : 1° la relation d'un voyage en Grèce, grand in-folio accompagné de soixante grandes planches, dessinées d'après nature et lithographiées par moi; 2° une étude du dessin d'après nature, accompagnée également de nombreuses planches lithographiées; 3° une monographie du château de Turlaville, in-folio, accompagnée de nombreuses planches lithographiées, etc., etc.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES.

Mes principaux travaux scientifiques se rapportent aux générateurs électriques, à l'électromagnétisme, aux courants d'induction de la machine de Ruhmkorff et aux courants telluriques.

I. — SUR LES GÉNÉRATEURS ÉLECTRIQUES.

Dans une série de Notes que j'ai envoyées à l'Académie des Sciences à différentes époques, je me suis occupé principalement des différents modes de groupement des piles, des variations, des constantes voltaïques, de l'influence exercée dans les piles par les dimensions relatives plus ou moins grandes de leurs électrodes polaires, des courants produits par des lames oxydables de même nature plongées dans un milieu humide, et des effets produits au sein des piles à bichromate de potasse.

Recherches sur le groupement des piles. — Ayant reconnu que la formule donnée par Ohm pour exprimer le mode de groupement des éléments d'une pile dans des conditions données n'était pas d'une application toujours facile, je suis arrivé à en poser une très-simple qui permet de calculer de suite le nombre a d'éléments qu'il faut disposer en tension et le nombre b d'éléments qu'il faut réunir en quantité pour utiliser de la manière la plus convenable une pile d'un nombre donné n d'éléments sur un circuit extérieur de résistance r . Si l'on désigne par E la force électromotrice de chaque élément, R sa résistance, l'intensité I du courant est donnée par la formule

$$I = \frac{nE}{aR + br},$$

et, pour que cette expression soit maximum, il faut que $aR = br$ ou que $\frac{a}{b}R = r$, c'est-à-dire que la résistance de la pile entière soit égale à celle du circuit extérieur. Dans ces conditions on déduit

$$a = \sqrt{\frac{nr}{R}} \quad \text{et} \quad b = \sqrt{\frac{nR}{r}}.$$

D'un autre côté, comme la formule générale devient alors

$$I = \frac{nE}{2aR} \quad \text{ou} \quad I = \frac{nE}{2bR},$$

on en conclut

$$a = \frac{2Ir}{E} \quad \text{et} \quad b = \frac{2IR}{E},$$

formules très-commodes qui permettent de connaître immédiatement le nombre d'éléments d'une pile et sa meilleure disposition pour obtenir une intensité donnée, le circuit extérieur seul étant donné.

Dans les différents travaux que j'ai entrepris sur cette question et qui ont été successivement présentés à l'Académie en juin et août 1860, en septembre 1869, j'indique les limites de résistance du circuit extérieur entre lesquelles on a avantage à employer tel ou tel mode de groupement, et ces limites pour les accouplements par b éléments réunis en quantité sont $\frac{nR}{(b-1)b}$ et $\frac{nR}{(b+1)b}$. Je donne en même temps, sans avoir recours au calcul différentiel, la démonstration des conditions de maximum de la formule $\frac{nE}{aR + br}$ et la manière dont cette expression se trouve transformée quand les accouplements sont faits d'une manière dissymétrique ou aux deux extrémités d'une ligne télégraphique.

Recherches sur les variations des constantes voltaïques. — Ces travaux, qui ont été l'objet de plusieurs Notes, présentées à l'Académie à différentes époques, démontrent mathématiquement comment les effets de polarisation, en modifiant la force électromotrice d'une pile dans des conditions variables suivant la résistance du circuit, conduisent à dénaturer la valeur des *constantes* de cette pile, quand on veut les déduire de l'expérience et des formules de Ohm. Je démontre en même temps que la valeur de la force électromotrice déterminée à l'aide de ces formules, et qui a pour valeur

$$E = \frac{I(r' - r)}{1 - I},$$

est toujours plus faible qu'elle ne devrait être ; car, pour qu'on pût l'obtenir exactement, il faudrait qu'on pût y ajouter la quantité $\frac{Ie' - I'e}{1 - I'}$, quantité qu'on est bien obligé de négliger, puisque les valeurs e et e' , qui représentent les forces électromotrices du courant secondaire dû à la pola-

risation avec les résistances r , r' sont inconnues ('). Il en résulte que, avec des piles qui se polarisent beaucoup, la détermination de la force électromotrice par la méthode de Ohm est tout à fait inexacte. Je démontre également que la détermination de la résistance des piles par la même méthode est non moins inexacte; car, pour qu'on pût en obtenir la véritable valeur, il faudrait retrancher de la formule $\frac{I'r' - Ir}{1 - I'}$, qui la représente, la quantité

$\frac{e - e'}{1 - I'}$. Je discute longuement cette question dans mes *Recherches sur les effets produits dans les piles à bichromate de potasse* (p. 16), et j'en démontre les conséquences pour la comparaison des piles entre elles.

Recherches sur l'influence exercée par les dimensions relatives plus ou moins grandes des électrodes polaires dans les piles. — J'ai envoyé sur ce sujet trois Notes à l'Académie en août, septembre et novembre 1871. Dans un premier travail, je démontre que la surface plus ou moins grande de la lame polaire positive des piles (le zinc) est à peu près insignifiante pour des circuits résistants et que, si elle intervient d'une manière beaucoup plus importante sur les circuits courts, elle ne fait varier l'intensité du courant que dans un rapport bien moins grand que celui des surfaces immergées; mais la réduction de surface de la lame polaire électro-négative exerce un effet beaucoup plus sensible et donne surtout lieu à des effets de polarisation beaucoup plus marqués, phénomènes que j'avais, du reste, constatés dès l'année 1861 dans les transmissions électriques à travers le sol, comme on le verra plus tard. La différence d'action due à la réduction des surfaces des électrodes polaires dans une pile à bichromate de potasse, en supposant ces électrodes égales, peut en effet être déduite des expériences suivantes faites sur un circuit très-peu résistant :

Les deux lames étant immergées sur une hauteur de 11 centimètres,	„
l'intensité du courant au moment de l'expérience a été.....	65
10 minutes après.....	45
La lame de zinc seule ne plongeant que de 5 millimètres seulement	
dans le liquide, cette intensité a été au début.....	55
10 minutes après.....	45
La lame de charbon seule ne plongeant dans le liquide que de 5 milli-	
mètres seulement, on a eu au début.....	35
10 minutes après.....,.....,.....	25

(') Je démontre, bien entendu, que la valeur Ie' est plus grande que $I'e$.

Les deux lames ne plongeant que de 5 millimètres seulement dans le liquide, on a eu au début.....	30°
10 minutes après.....	25

Avec un circuit de 22 379 mètres de résistance en fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre, ces chiffres sont devenus en moyenne, en employant un rhéomètre plus sensible,

Dans le 1 ^{er} cas.....	33,34'
» 2 ^e cas.....	33,25
» 3 ^e cas.....	32,28
» 4 ^e cas.....	32,25

J'ai conclu naturellement de ces expériences que, si l'on a un réel intérêt à diminuer la surface de la lame de zinc dans les piles, on peut le faire toujours sans inconvénient sur les circuits résistants, mais que, sur les circuits courts, on devra compenser cette réduction par un développement équivalent de la lame électro-négative.

Dans ma deuxième Note, j'examine quel intérêt on peut avoir au point de vue de la dépense de la pile à diminuer la surface du zinc, et j'établis que cette question peut donner lieu à des conclusions différentes :

1° Suivant que la pile est maintenue toujours chargée sans fournir d'action continue, ce qui est le cas de la majeure partie des applications électriques;

2° Suivant qu'elle fournit une action continue pendant tout le temps de sa charge;

3° Suivant l'énergie et la durée de cette action.

Dans le premier cas je conclus sans indécision en faveur des petites électrodes de zinc, car, avec les zincs généralement fournis dans le commerce, l'oxydation s'effectue sans que le circuit soit formé; et cette oxydation se produisant sur toute la surface du zinc entraîne une perte d'autant plus grande que la lame de zinc est plus développée.

Dans le deuxième cas je démontre que, pour une même durée d'action et une même intensité de courant, la dépense en zinc est toujours la même, que l'électrode soit grande ou petite, ce qui est facile à comprendre, puisque, pour un même travail produit, la dépense doit être la même; mais je fais voir que néanmoins on peut avoir avantage à employer de petites surfaces de zinc si l'on fait usage de grandes lames électro-négatives. Ainsi, par exemple, avec la disposition de pile adoptée par M. Ruhmkorff pour ses grands appareils

d'induction, le courant est plus énergique quand la lame de zinc est unique et les charbons doubles que quand l'inverse a lieu, ce qui est le cas habituel. D'ailleurs, comme certains liquides excitateurs s'épuisent très-promptement sous l'influence d'une grande surface de zinc, je conclus encore qu'il vaut mieux réduire celle-ci autant que possible.

Dans le troisième cas, j'admets qu'on doit prendre des lames de zinc de grande surface pour simplifier la main-d'œuvre, ou bien employer le système à lames vernies de M. Delaurier.

La conclusion la plus importante de ma troisième Note est que l'affaiblissement plus ou moins grand du courant qui résulte de la réduction de l'une ou de l'autre des lames polaires d'une pile dépend de deux causes physiques tout à fait différentes, lesquelles, suivant la disposition de la pile et les conditions de conductibilité des liquides entrant dans sa composition, peuvent conduire à des conditions diamétralement opposées.

Si la pile est à un seul liquide et susceptible d'être polarisée fortement et que le liquide ait une même conductibilité dans toute sa masse, l'effet le plus préjudiciable de la réduction des lames polaires correspond à la réduction de la lame électro-négative, parce que l'énergie des effets de la polarisation dépend principalement de la surface de cette lame.

Si la pile est à deux liquides et que les effets de la polarisation soient peu énergiques ou bien si, la pile étant à un seul liquide, la conductibilité est différente dans le voisinage des deux électrodes, la lame polaire, dont la réduction de surface entraîne le plus grand affaiblissement du courant, est celle qui plongera dans le liquide ou la partie du liquide qui aura le moins de conductibilité, ce que l'on conçoit d'ailleurs facilement si l'on examine que, dans les transmissions à travers les corps médiocrement conducteurs, les lames de communication doivent être d'autant plus grandes que le conducteur est plus résistant.

Ces effets sont assez prononcés, car en prenant une pile de Daniell, dont les électrodes polaires avaient une égale surface (1 décimètre carré), et dont je faisais varier la conductibilité du liquide excitateur, j'obtenais les résultats suivants :

1° Le liquide excitateur à peine salé et les deux électrodes étant immergées sur une hauteur de 10 centimètres, l'intensité du courant a été.....	57°
2° L'électrode cuivre ne plongeant que de 1 centimètre.....	38
3° L'électrode zinc ne plongeant que de 1 centimètre.....	16
4° Les deux électrodes ne plongeant que de 1 centimètre.....	10

En saturant l'eau de sel marin, d'abord, et ensuite en y ajoutant de l'acide sulfurique, ces chiffres sont devenus :

	Avec le sel.	Avec l'acide.
Dans le 1 ^{er} cas.....	67 ⁰	77 ⁰
» 2 ^e cas.....	41	43
» 3 ^e cas.....	47	60
» 4 ^e cas.....	40	45

Avec les courants provenant de l'oxydation des lames métalliques enterrées dans le sol, on remarque des effets analogues.

Je conclus des deux effets différents précédemment analysés que, quand les deux liquides d'une pile sont d'égale conductibilité, les différences d'intensité du courant qui peuvent résulter de la réduction de l'une ou de l'autre des électrodes dépendent uniquement des effets de la polarisation et sont plus ou moins accentués suivant l'énergie de ces effets; mais, quand la conductibilité des deux liquides n'est pas la même, ces différences peuvent avoir des signes contraires suivant que les effets de la polarisation ou ceux de la conductibilité des liquides sont prépondérants dans l'action générale produite.

Recherches sur les courants produits par des lames oxydables de même nature, plongées dans un milieu humide. — Ces courants ont été de ma part l'objet de nombreuses recherches, faites à deux époques différentes, en 1861 et en 1872. En 1861, dans deux Mémoires présentés à l'Académie dans ses séances du 27 mai et du 3 juin, je démontrâis :

1^o Que quand deux plaques oxydables de même métal et de même grandeur sont plongées dans le sol et réunies par un fil isolé, il se produit toujours un courant tellurique assez énergique quand le terrain est différemment humide dans le voisinage de ces plaques, et ce courant est dirigé, à travers le fil, de la plaque enterrée dans le terrain le plus sec à la plaque enterrée dans le terrain le plus humide, celle-ci se comportant d'ailleurs exactement comme la lame électropositive d'un couple voltaïque;

2^o Que le courant ainsi produit est d'autant plus énergique que la différence d'humidité des terrains est plus grande, que la surface de la plaque électropositive est plus attaquable et que la plaque électronégative a une surface plus grande;

3^o Que ces courants, pour un circuit métallique constitué par un fil de fer télégraphique de 3 millimètres de diamètre et de 1735 mètres de longueur, ont pu atteindre une intensité représentée par 9° 17' avec une bous-

sole des sinus de M. Bréguet de vingt-quatre tours, ce qui leur supposait une force électromotrice représentée par 1005, alors que celle de l'élément Daniell était représentée avec la même boussole par 5973.

Ces effets se comprennent d'ailleurs aisément si l'on réfléchit que les deux lames ainsi enterrées constituent, avec la terre, un couple voltaïque dont l'une des lames, étant plus oxydée que l'autre, se constitue électropositivement par rapport à cette dernière; toutefois j'ai voulu étudier ces effets d'une manière plus complète, à l'aide d'expériences de cabinet, et je me suis trouvé conduit aux conclusions suivantes :

1° Un courant voltaïque peut prendre naissance avec des lames composées d'un même métal oxydable non-seulement quand le milieu intermédiaire dans lequel elles sont plongées est différemment humide, mais encore suivant leurs dimensions et leur température relatives, suivant l'état de décapage de leur surface, suivant les effets mécaniques qui sont exercés sur elles, enfin suivant la manière même dont elles sont immergées.

2° Quand l'une des plaques est notablement plus petite que l'autre, et que le milieu humide intermédiaire est homogène, il se produit un courant dirigé à travers le circuit extérieur de la petite plaque à la grande, parce que, les effets de polarisation étant plus énergiques sur la petite plaque que sur la grande, le courant qui passe est celui dû à l'oxydation de la grande plaque.

3° Quand un couple est constitué avec des lames d'un même métal placées dans des conditions identiques, et qu'il ne se développe pas de courant différentiel à la température ambiante, il suffit de chauffer l'une ou l'autre de ces lames pour lui donner une polarité électronégative quel que soit le métal, et lui faire fournir un courant comme si elle représentait un pôle positif. Si un courant est déjà produit, l'action de la chaleur a pour effet de diminuer ce courant, quand la lame chauffée est électropositive, c'est-à-dire quand elle joue le rôle de lame oxydée; elle augmente, au contraire, la déviation quand cette lame est électronégative, c'est-à-dire fournit au courant l'électricité positive. En même temps, les effets de polarisation sont notablement amoindris sur la lame chauffée.

4° Il résulte de cette action que, si les électrodes sont facilement attaquables, le courant produit par l'échauffement de l'une d'elles, et qui sera dans un certain sens dans l'origine, pourra subir après un certain temps d'échauffement une inversion; car la lame chauffée, en se dépolarisant sous l'influence de la chaleur, devient plus facilement oxydable, et tend, en conséquence, à développer un courant de sens contraire, qui devient bientôt prédominant et qui peut même se renverser de nouveau par suite du refroidissement de la

lame, quand les effets de polarisation qui s'y trouvent alors facilement développés ont repris le dessus.

5° Les effets de la chaleur sur les électrodes polaires des couples voltaïques ne sont pas inhérents seulement aux couples dont nous parlons; ils se retrouvent également dans les couples où les électrodes sont de nature différente, et il en résulte alors un accroissement d'énergie dans le courant qu'ils produisent et une plus grande constance dans les effets déterminés, quand, toutefois, la lame chauffée est électronégative; mais l'inverse a lieu quand on chauffe la lame électropositive. Naturellement ces effets sont d'autant plus marqués que la pile est plus susceptible de se polariser.

6° Quand les lames d'un couple voltaïque sont de même nature et que l'une d'elles est agitée, essuyée ou décapée, un courant prend immédiatement naissance, et cette lame se constitue généralement négativement, pour les métaux peu attaquables, comme le platine, le cuivre, l'or, l'argent, le plomb et l'étain, et positivement pour les métaux très-attaquables, comme le zinc, le fer et même l'aluminium, ce qui peut tenir à une dépolarisation de la lame agitée, essuyée ou décapée, mais aussi à une action de frottement, comme je l'ai démontré.

7° Quand le milieu intermédiaire entre les deux lames de même métal est constitué par un corps conducteur sec, des limailles métalliques ou du poussier de charbon, par exemple, l'échauffement de l'une des lames ne produit aucun effet, même quand ces limailles ou ce poussier sont humectés, ce qui prouve que ce n'est pas une simple action thermo-électrique qui est en jeu dans ces sortes de phénomènes. En revanche, l'agitation peut déterminer un courant variable suivant la nature des limailles.

8° Si deux lames métalliques identiques sont plongées en même temps dans un milieu humide, il ne se produit pas de courants bien caractérisés; mais, si l'une d'elles est plongée après l'autre, il s'en détermine de très-accentués pour lesquels la lame la dernière immergée est pôle positif.

Ces différentes expériences ont éclairé complètement la question si embrouillée des courants accidentels, qui sont développés d'une manière continue sur les lignes télégraphiques, en dehors des orages et des perturbations dans le magnétisme terrestre, courants étudiés par MM. Becquerel, Matteucci, Magrini, Baumgartner, etc., et qui ont été souvent attribués à l'électricité atmosphérique existant en tous temps dans l'atmosphère. Or, d'après les expériences nombreuses et prolongées que j'ai faites, ces courants ne sont rien autre chose que des courants hydrothermo-électriques du genre de ceux étudiés précédemment, c'est-à-dire des courants issus d'un

couple voltaïque dont les électrodes polaires sont constituées par les plaques de communication avec le sol et les fils de ligne, et dans lequel le milieu humide interposé est représenté par le globe terrestre et les poteaux souteneurs des fils, le long desquels s'effectuent toujours les pertes électriques. Or, comme les fils de ligne sont exposés aux variations atmosphériques, à la pluie, au soleil et au vent, trois causes qui peuvent constituer l'une des électrodes de cette sorte de couple positivement ou négativement, il doit s'ensuivre que ces courants peuvent varier de sens la nuit et le jour, ou suivant la saison, ainsi que je l'ai constaté, et fournir des courants continus, suivant certaines orientations ou certaines altitudes des lignes télégraphiques; or, comme la lame échauffée d'un couple se constitue négativement, les courants continus doivent être dirigés, sur les lignes dont nous parlons, de la station chaude à la station froide, c'est-à-dire du midi au nord, et des vallées aux montagnes, ainsi que l'a constaté M. Matteucci. D'un autre côté, comme les poteaux télégraphiques, en servant de dérivations à ces courants, permettent aux flux électriques de s'accumuler dans la partie de la ligne qui leur est commune, l'intensité de ces courants dans un fil dont une extrémité est isolée dans l'air est plus grande près de la plaque en communication avec la terre qu'à l'extrémité libre, ainsi que l'a reconnu M. Magrini. Enfin, comme l'oxydation est plus directe sur le fil de ligne que sur la plaque de terre, le sens de ces courants en temps ordinaire, et surtout en l'absence du soleil, est le plus souvent en sens contraire de ce qu'il serait si le développement électrique provenait de l'oxydation de la plaque enterrée, fait également reconnu par M. Magrini.

J'ai envoyé à l'Institut sur ces différents effets quatre communications qui ont été insérées dans les *Comptes rendus*, t. LXXV, p. 956, 1098, 1504 et 1622, et je réunis en ce moment les résultats de cinq mois d'observations faites cinq fois par jour (de trois en trois heures), concurremment avec les observations thermométriques, barométriques, etc., etc.

Recherches sur les effets produits sur les transmissions électriques par l'intervention des plaques de communication avec le sol. — Les différents effets que j'avais constatés en 1861 sur les courants produits au sein des lignes télégraphiques sous l'influence des plaques de communication avec le sol m'ont engagé dès cette époque à étudier l'influence de ces mêmes plaques sur les transmissions électriques déterminées, à travers un circuit complété par elles, et je n'ai pas tardé à reconnaître qu'en faisant abstraction de l'influence des courants telluriques, influence toujours assez faible en face des courants

électriques transmis, l'intensité de ces derniers courants peut être très-variable suivant la manière dont ils sont dirigés, et dépend des dimensions relatives des plaques de communication, par conséquent des effets de polarisation déterminés sur ces plaques. Or voici les conclusions que j'émettais sur ces sortes d'effets dans ma Note envoyée à l'Académie en juin 1861 :

1° Quand les plaques de communication du circuit avec le sol sont d'inégale surface, par exemple quand on emploie à l'une des stations une conduite d'eau ou de gaz, et à l'autre une plaque métallique immergée dans un puits, la résistance du circuit est beaucoup plus grande quand la grande plaque est en rapport avec le pôle positif que quand l'inverse a lieu. La différence de résistance d'un circuit de 5205 mètres de longueur en fil télégraphique de 3 millimètres, complété par le sol, a pu varier de 6938 à 7935 mètres.

2° Quand la grande plaque joue ainsi le rôle d'électrode positive, la résistance du circuit augmente rapidement avec la prolongation de la fermeture du courant, tandis qu'elle reste sensiblement constante dans le cas contraire.

3° Les différences de résistance du circuit avec la disposition différente des pôles de la pile par rapport aux plaques de communication avec le sol augmentent avec la longueur du circuit métallique, mais seulement quand la grande plaque est positive. Ces différences avec des circuits de 1735 mètres et de 5205 mètres ont été de 742 et de 878 mètres.

4° Avec des plaques de communication de mêmes dimensions, l'augmentation de résistance du circuit, par suite de la prolongation de la fermeture du courant, s'effectue toujours à peu près de la même manière, quel que soit le sens du courant par rapport à ces plaques, les effets étant symétriques de part et d'autre.

Recherches sur les effets produits par la poussière de charbon sur la lame électro-négative des piles à charbon. — J'ai envoyé en 1872 à l'Académie une longue Note sur ces effets, qui ne peuvent être appréciés bien exactement qu'à l'aide d'un galvanomètre de 36000 tours de spires. Il résulte des expériences que j'ai entreprises à cet égard que la mixture de charbon autour d'une électrode de la même matière a pour effet, au début, de rendre électropositif le charbon s'il est négatif, ou d'augmenter sa polarité positive s'il la possède déjà; mais, au bout d'un quart d'heure environ, cet effet fait place à un autre, qui s'effectue en sens contraire, et alors le charbon devient fortement électronégatif, ou encore plus négatif s'il a déjà cette polarité. Cet effet

est général, quelle que soit d'ailleurs la polarité relative de la mixture, et se conserve momentanément, après même que cette mixture n'entoure plus le charbon; en un mot, la mixture de charbon joue, par rapport à l'électrode de charbon, le rôle du dépôt de platine sur la lame électro-négative des couples de Smée, et elle amoindrit en même temps considérablement les effets de la polarisation. C'est à cause de ces effets que les piles de MM. Leclanché, Fortin, Devos, Chutaux, etc., sont relativement constantes et énergiques.

Recherches sur les effets produits dans les piles à bichromate de potasse, à sable et à poussier de charbon avec écoulement constant de liquide. — Ces recherches, qui m'ont demandé trois mois d'expériences journalières, ont été l'objet d'une brochure de cinquante pages que j'ai présentée à l'Académie au mois de novembre 1872; j'étudie ces effets au point de vue de l'écoulement plus ou moins prompt du liquide excitateur, de l'influence de la température, des effets de polarisation, de l'action des liquides après plusieurs passages successifs à travers la pile, de la composition du liquide excitateur et de la dépense de la pile; puis je discute la détermination des valeurs des constantes de cette pile comparativement à celles de la pile de Daniell.

Le point intéressant de ces recherches comme résultat scientifique est que dans la pile à bichromate de potasse à écoulement constant il existe quatre systèmes de réactions chimiques qui agissent dans un même sens, et une cinquième, malheureusement assez énergique, qui agit en sens contraire et qui rend cette pile inconstante sur des circuits peu résistants. Cette dernière est celle qui a pour résultat la formation de l'alun de chrome; mais cette action nuisible n'est que passagère et, une fois formé, l'alun de chrome mêlé à la solution exerce un effet utile en se trouvant à son tour décomposé par l'hydrogène et transformé en sulfate de protoxyde de chrome, ce qui constitue l'une des quatre actions effectives contribuant au dégagement électrique. Les trois autres sont l'oxydation du zinc, la réduction du bichromate et la réduction du sulfate de potasse comme dans la pile de Selmi. On comprend d'après cela pourquoi les effets de cette pile sont si compliqués et quelquefois même contradictoires, d'autant plus que, dans la réduction du bichromate, le chrome, déposé à l'électrode négative, s'oxyde aux dépens de l'acide chromique du sel de chrome pour constituer le sulfate de sesquioxyde de chrome et de potasse, qui est l'alun de chrome.

D'après mes expériences, le dégagement électrique, dans les premiers moments de l'action de la pile, serait d'autant plus grand que la proportion de sel et d'acide dans la solution serait plus considérable; mais, au bout de

peu de temps, cette plus grande énergie s'atténue, et le liquide se trouve plus appauvri qu'avec une moindre proportion de ces substances; en même temps, il y a une plus grande consommation de zinc sans que la force électromotrice en soit pour cela augmentée.

Or voici les conclusions auxquelles m'ont conduit ces considérations et les expériences nombreuses que j'ai entreprises à ce sujet :

1° Des différentes dispositions de la pile à bichromate de potasse, celle qui fournit les meilleurs résultats, sous le rapport de la constance des effets, de l'énergie de la force électromotrice, de la durée d'action et de l'économie, est la disposition au sable et poussier de charbon que lui a donnée M. Chutaux; mais à la condition, toutefois, que l'humectation du sable soit entretenue d'une manière suffisante, à l'aide de vases poreux surmontés de flacons laissant filtrer une quantité de liquide au moins égale à 46 centimètres cubes par jour pour des courants interrompus et des circuits résistants, et à 64 centimètres cubes pour des courants continus et des circuits d'une résistance de 4 kilomètres au moins.

2° La solution excitatrice qui fournit, *en somme*, les meilleurs effets et surtout les plus réguliers et les plus constants est celle de MM. Voisin et Dronier, qui est constituée avec le sel ayant pour formule $\text{NaO}, \text{SO}^3 + 7(\text{SO}^3, \text{HO}) + \text{KO} \cdot 2\text{CrO}^3$; mais la proportion d'eau doit varier suivant l'effet qu'on demande à la pile, suivant la résistance du circuit, et suivant que celle-ci est à sable ou à liquides libres. Si l'action à produire doit être continue et durable, comme cela a lieu dans la télégraphie et autres applications du même genre, que le circuit soit résistant et que la pile employée soit celle de Chutaux, le sel doit n'entrer dans la solution que pour 20 pour 100 du poids de l'eau, et le liquide peut passer quatre fois de suite à travers la pile; on peut même réduire cette proportion à 12 pour 100, si, comme cela a lieu dans les piles de l'administration des lignes télégraphiques, on ne fait subir au liquide que deux passages; mais si l'action doit être momentanée et énergique, qu'elle doive s'effectuer sur un circuit peu résistant et avec une pile à liquides libres, on a avantage à dissoudre une plus grande quantité de sel, car la force augmente avec cette quantité. Dans tous les cas, on comprend quels avantages peut présenter un sel solide dont il est facile de régler l'action à volonté, et qui, par son extrême solubilité, permet de préparer en quelques instants une solution excitatrice d'un titre voulu.

3° Que, le liquide pouvant passer quatre fois au moins à travers un même élément, sans perte sensible dans sa force électromotrice, la dépense d'entretien de cette pile peut être estimée moyennement à 1^{fr}, 28 par élément

pour une année de fonctionnement sur un circuit résistant et interrompu, l'usure du zinc entrant dans cette dépense pour 36 centimes. C'est une dépense près de moitié moindre que celle de l'élément Daniell, et on a l'avantage d'avoir, en l'employant, une pile qui a une force électromotrice presque double de celle de ce dernier élément et qui, ne donnant lieu à aucune efflorescence, se trouve toujours dans un état de propreté extrême.

Recherches sur les effets de polarisation produits dans les piles constantes, soit de Daniell, soit de Bunsen, quand la lame zinc est trop profondément immergée. — Ce travail, qui n'a pas été, il est vrai, l'objet d'une Communication à l'Académie, a été fait en 1871 et publié dans le troisième volume de mon *Exposé des applications de l'électricité* (3^e édition, t. I, p. 197). J'y démontre que si l'on enfonce trop profondément le zinc d'une pile de Daniell ou de Bunsen dans le liquide excitateur, non-seulement il se manifeste un affaiblissement d'intensité du courant, mais encore le courant s'affaiblit rapidement avec le temps, ce qui est un caractère des effets de polarisation. Cet effet provient de ce que la lame polaire, ordinairement en cuivre ou en métal plus électronégatif que le zinc, constitue alors avec celui-ci, au sein du liquide excitateur, un couple local qui se produit au détriment du courant général, et, en second lieu, de ce qu'une notable partie du courant, après avoir traversé le circuit extérieur, se dérive en partie à travers le liquide pour rejoindre le zinc par les différents points de sa surface. Comme celle-ci, par rapport à ces dérivations, joue le rôle d'électrode négative, il se produit sur elle un dépôt d'hydrogène qui la polarise énergiquement et qui place la pile dans les conditions d'une pile inconstante. On pourra se faire une idée de ces effets par les chiffres suivants :

En prenant pour électrode positive d'un couple de Bunsen un zinc de petites dimensions soudé à une lame de cuivre soigneusement vernie et immergé entièrement dans le liquide, l'intensité du courant à ma boussole était représentée par 72 degrés. Elle était parfaitement stable pendant plus de quinze minutes de fermeture du circuit. En dévernissant la lame de cuivre et la mettant à nu, cette intensité est tombée subitement à 68 degrés, et au bout de huit minutes elle était réduite à 58 degrés. Avec une lame de communication plus grande et plus électronégative, une lame de charbon de cornue, par exemple, établissant le contact entre le zinc et le circuit extérieur, ces effets ont été encore plus caractérisés; ainsi l'intensité du courant, qui était au début 59 degrés, ne l'était plus au bout de huit minutes que par 35 degrés.

Ces effets démontrent qu'on a tort de souder les lames polaires des zincs trop bas, et de trop élever la hauteur du liquide excitateur.

Recherches sur les effets produits par les incrustations des vases poreux dans les piles de Daniell. (Présentées à l'Institut, dans sa séance du 4 avril 1860). — Dans ce Mémoire, je démontre que les incrustations de cuivre dont se recouvrent les vases poreux des piles de Daniell, après un certain temps de service, ont pour effet de diminuer d'une manière notable la résistance intérieure de la pile et d'augmenter, par cela même, l'intensité du courant produit. Il en résulte que, si l'on groupe ensemble un certain nombre d'éléments neufs et un certain nombre d'éléments vieux, il pourra arriver, avec une faible résistance de circuit extérieur, que le courant fourni par la pile entière sera moins intense que celui fourni par la seule série d'éléments vieux, ce dont les formules de Ohm rendent parfaitement compte. Je démontre également que de cette diminution de la résistance intérieure des éléments de la pile résulte une diminution de la force électromotrice de ceux-ci, diminution excessivement légère, à la vérité, mais qui peut cependant être appréciée par la méthode de l'opposition des couples. (Voir mon *Étude des lois des courants électriques*, p. 44 à 50.)

Nouvelle méthode de détermination de la résistance des couples. (Présentée à l'Académie en 1864). — Afin de pouvoir mesurer à l'aide d'une boussole des sinus sensible et avec des résistances de circuit relativement peu considérables la résistance des couples, j'ai cherché à employer le système des dérivations. En conséquence, je commence par déterminer au moyen de la boussole l'intensité I de la source électrique, en introduisant dans le circuit une résistance r suffisante. Je dérive ensuite le courant en réunissant les deux pôles de la pile par un fil de résistance connue b , mais assez faible; puis je diminue la résistance r jusqu'à ce que l'intensité du courant soit devenue ce qu'elle était primitivement. Si a représente la résistance r ainsi diminuée, et que R représente la résistance du couple, on a

$$R = \frac{b(r-a)}{a}.$$

Généralement on trouve par cette méthode des chiffres inférieurs à ceux qu'on déduit de la méthode de Ohm qui donne pour valeur de R

$$R = \frac{I' r' - I r}{I - I'};$$

mais cela se comprend aisément si l'on considère que, dans le cas qui nous occupe, l'écart entre r et α est beaucoup plus considérable que entre r et r' dans le second cas. Or on sait que la résistance calculée d'un couple d'après les formules de Ohm augmente avec la longueur du circuit et surtout avec le moindre écart des deux résistances de celui-ci qui ont servi à la déterminer, comme l'indique du reste la formule

$$R = \frac{I' r' - I r}{I - I'} = \frac{e - e'}{I - I'}.$$

II. -- SUR L'ÉLECTROMAGNÉTISME.

Mes travaux sur l'électromagnétisme sont assez nombreux et se rapportent principalement aux effets de la condensation magnétique, à la distribution du magnétisme dans les aimants et leurs armatures et aux conditions de force des électro-aimants: 1° par rapport aux réactions extérieures qui peuvent les stimuler; 2° par rapport à la forme et à la disposition des armatures; 3° par rapport à la masse et à la nature du fer des noyaux magnétiques; 4° par rapport à la résistance des hélices magnétiques et aux dimensions relatives des différentes pièces qui les composent; 5° par rapport au magnétisme rémanent; 6° par rapport à la vitesse d'aimantation et de désaimantation des noyaux magnétiques.

Recherches sur la distribution du magnétisme dans les systèmes composés de deux corps magnétiques ayant action l'un sur l'autre. — Guidé par les besoins de l'application de l'électromagnétisme aux effets mécaniques, j'ai été le premier en 1856 à étudier cette question et les résultats que j'ai obtenus ont été consignés dans mon *Étude du magnétisme* (p. 46 à 64).

Il résulte de ce travail qu'un aimant agissant par l'un de ses pôles sur une armature de fer doux développe dans cette armature une polarité opposée; mais cette polarité n'est jamais appréciable extérieurement que sur une très-petite étendue et semble être confinée dans un espace hémisphérique situé directement au-dessus du pôle lui-même, espace qui se réduit

successivement à mesure que la distance entre les deux pièces magnétiques devient moindre. Tout le reste de la périphérie de l'armature est polarisé de la même manière que le pôle inducteur, et quand le contact a lieu entre les deux pièces, l'armature ne semble faire qu'un épanouissement du pôle avec lequel elle est en contact. D'où il résulte que le magnétisme attiré de l'armature se trouve dissimulé à la surface de jonction de l'aimant et de l'armature. Or, comme il n'est pas d'action sans réaction, il résulte de cette attraction mutuelle des fluides magnétiques ainsi dissimulés que la ligne neutre se trouve un peu déplacée et reportée vers le pôle muni de son armature. Mais ce déplacement est loin de correspondre à celui qui se produit quand on oppose l'un à l'autre deux aimants par leurs pôles dissimilaires, car ils semblent alors ne former qu'un seul et même aimant, et la ligne neutre de chacun d'eux se trouve reportée tellement près de leur surface de jonction qu'on pourrait la croire unique pour un contact parfait des deux pièces. Dans ces conditions, les deux extrémités du système constituent bien deux pôles parfaitement caractérisés de force à peu près égale, comme si les deux aimants n'en faisaient qu'un ; mais avec l'armature de fer il est loin d'en être ainsi, et le magnétisme qui se manifeste sur toute la surface de l'armature et du pôle inducteur a diminué considérablement d'énergie au bénéfice de l'autre pôle de l'aimant dont l'action se trouve alors grandement surexcitée. On peut suivre facilement tous ces effets au moyen des fantômes magnétiques, et dans mon travail je donne les dessins de 14 fantômes des principales dispositions des systèmes magnétiques de ce genre. C'est l'étude de cette distribution du magnétisme qui m'a conduit à la théorie du magnétisme condensé dont j'ai entretenu l'Académie à différentes époques et que les récentes expériences de M. Jamin ont confirmée de la manière la plus complète.

Recherches sur les effets de la condensation magnétique. — Les études que j'ai faites sur cette question sont relatées dans plusieurs de mes ouvrages, au fur et à mesure que je trouvais de nouvelles preuves à ajouter à l'appui de mes idées à cet égard et, ne pouvant entrer dans tous les détails que cette question comporte, je renverrai à :

- 1° Mon *Étude du magnétisme*, publiée en 1857 (p. 56 à 64) ;
- 2° Ma brochure adressée en 1859 à MM. les Membres de la Société Philomathique, pour répondre à des objections qui m'étaient adressées (p. 11) ;
- 3° Mon *Mémoire sur les courants induits*, inséré dans ma *Notice sur l'appareil de Ruhmkorff* (4^e édition, p. 374) ;

4° Mes *Recherches sur les meilleures conditions de construction des électro-aimants* (p. 117) ;

5° Mon *Exposé des applications de l'électricité*, t. V, p. 195, et à mon *Traité de Télégraphie électrique* (p. 148 et 161), etc.

En résumé, je disais, dans toutes ces publications, qu'un aimant agissant sur une armature de fer doux provoque, par suite de son contact avec celle-ci, une action électrostatique tout à fait *analogue à celle qui se produit dans un condensateur électrique* ; que cette action a pour effet de *dissimuler*, en grande partie, les polarités magnétiques opposées l'une à l'autre, et de les *maintenir indéfiniment développées* au point de contact des deux pièces magnétiques, quand bien même la cause aimantante n'existerait plus. J'ajoutais que, dans ces conditions, la force coercitive tient lieu de l'isolateur dans les condensateurs électriques.

Je donnais comme preuves à l'appui de cette manière de voir :

1° Qu'un électro-aimant, mis en contact avec une armature et animé *momentanément* par un fort courant, maintient cette armature collée contre ses pôles des mois entiers, des années même, après la disparition de la cause aimantante ; et cette action est tellement caractérisée que j'ai pu obtenir, dans de pareilles conditions, au bout d'un an, un courant d'induction très-énergique par le détachement brusque d'une armature ainsi collée ; mais cette action ne se renouvelait pas à la suite d'un second contact ;

2° Qu'un électro-aimant muni d'une armature constituée par un second électro-aimant à fil fin fournit, dans ce dernier, au moment où il s'aimante pour la première fois, un courant induit *infiniment plus énergique* que quand on l'aimante de nouveau par une seconde fermeture du courant ; mais ce courant induit peut reprendre toute son énergie si, avant de provoquer cette nouvelle aimantation, on a eu soin de *détacher préalablement l'un de l'autre les deux électro-aimants* ; or cet affaiblissement du courant induit, aux secondes aimantations, ne peut provenir que de la dissimulation du magnétisme au point de jonction des deux pièces ;

3° Qu'un cylindre de fer doux qui, comme on le sait, est attiré à l'intérieur d'une hélice galvanique quand le fil de cette hélice est en cuivre, ne l'est plus du tout quand ce fil est en fer : et il en est de même si le canon métallique, sur lequel est enroulée l'hélice, est construit avec ce dernier métal ;

4° Qu'un barreau en acier trempé, qu'on aimante d'après le système Duhamel, c'est-à-dire en le munissant d'armatures, est beaucoup plus énergique que quand il en est dépourvu, précisément parce que le magnétisme,

dans le premier cas, est maintenu développé pendant les alternatives des frictions.

Je donnais, comme conséquences de cette action de condensation, d'abord l'*uniformité de polarité* qu'acquiert une armature soumise à l'action d'un seul pôle magnétique et l'*affaiblissement considérable de l'énergie magnétique du système*, du côté de cette armature ; en second lieu, l'attraction qui se produit entre deux pôles magnétiques de même nom, quand ils sont à très-petite distance l'un de l'autre, et que l'un est d'une puissance plus grande que l'autre ; en troisième lieu, le mouvement et la position en croix que prend une armature de fer doux, quand elle est un peu bombée au milieu et qu'on la place sur le pôle prolongé d'un aimant droit, parallèlement à son axe ; en quatrième lieu, la projection assez énergique d'un bouchon de fer fermant librement l'extrémité polaire d'un aimant tubulaire, aussitôt qu'on vient à aimanter celui-ci ; en cinquième lieu, l'accroissement énorme de l'énergie d'un aimant droit à l'un de ses pôles, quand on munit son autre pôle d'une masse de fer.

Dans les différents Mémoires que j'ai publiés sur cette question, je n'explique pas ces effets de condensation par une accumulation des fluides magnétiques, ni par leur déplacement d'une molécule à l'autre, comme on me l'a fait dire, mais simplement par un changement d'orientation dans l'axe des *polarités atomiques* des molécules magnétiques constituant les chaînes de courants de l'hélice magnétique, hypothèse qui ne change en rien la théorie d'Ampère dans sa liaison avec les effets dynamiques des aimants.

D'après cette théorie, les aimants auraient deux genres d'action : une *action dynamique*, s'exerçant à la manière des solénoïdes d'Ampère et dont le centre correspondrait au milieu du barreau, en fournissant une résultante parallèle aux spires de l'hélice magnétique (1), et à cette action

(1) On peut avoir la preuve de la vérité de cette interprétation en interposant entre les deux pôles du grand électro-aimant de Faraday à pôles opposés une tige de fer doux sur laquelle on peut faire courir une bobine d'induction très-courte, de 2 centimètres de longueur, par exemple. Sous l'influence de l'électro-aimant, cette tige acquiert deux polarités contraires à ses deux extrémités et le milieu fournit une ligne neutre comme dans les aimants ordinaires. Dans ces conditions, on peut savoir dans quel sens dévie le galvanomètre sous l'influence du courant induit développé dans l'hélice au moment de l'aimantation de la tige. Or, si l'on ramène vivement l'hélice du milieu de cette tige vers l'une ou l'autre des extrémités de cette dernière, on obtient un courant qui est *dans le sens de la démagnétisation* et si l'on effectue le mouvement inverse, le courant est dans le sens de l'aimantation. Donc ce n'est pas parce que l'hélice *se dirige de la ligne neutre vers les pôles de la tige magnétisée* que le courant induit se développe, ce qui entraînerait alors un courant de même sens que le courant d'aimantation, mais parce que l'hélice *s'éloigne de la résultante de toutes les actions*

devraient être rapportés les effets d'induction produits par les aimants, ainsi que les forces directrices échangées entre eux et les courants; en second lieu, une *action statique*, qui constituerait la force attractive, laquelle serait dépendante des pôles magnétiques, points où les polarités atomiques prendraient une orientation variable suivant les conditions de l'aimant par rapport aux corps qui l'entourent. Si l'aimant n'est impressionné par aucun corps magnétique, placé dans le voisinage, les polarités atomiques se disposent de manière à constituer entre elles un état d'équilibre tel que des polarités de noms contraires se trouvent le plus possible opposées l'une à l'autre, et il en résulte, aux deux extrémités du barreau, des polarités différentes avec deux centres d'action, désignés sous le nom de *pôles*, dont j'ai indiqué les conditions dans mon *Étude du magnétisme*. Si maintenant on admet qu'un corps magnétique se trouve soumis à l'action de ces polarités ainsi distribuées, celles-ci provoquent une réaction par influence, qui a pour effet de faire prendre aux axes des polarités atomiques une nouvelle position d'équilibre et une nouvelle orientation qui déplacent les centres d'action ou pôles, et les portent vers le corps influencé, en donnant à l'attraction et aux polarités elles-mêmes une action d'autant plus vive que les deux corps se trouvent plus rapprochés: or cette action est au maximum à leur contact; mais le courant magnétique n'en subsiste pas moins pour cela, de même qu'un courant électrique traversant un câble sous-marin n'en agit pas moins comme source dynamique, bien que provoquant en même temps latéralement une action statique. Enfin quand, à un aimant muni à l'un de ses pôles d'une armature, on présente une seconde armature, les polarités atomiques se trouvent de nouveau influencées, et, pour satisfaire à la double action qui est provoquée, elles prennent une nouvelle position d'équilibre, qui ne peut naturellement se produire qu'au préjudice de la première action, et cela dans un rapport à peu près proportionnel à la masse des corps influencés et surtout à leur *surface*.

Recherches sur les conditions de force des électro-aimants par rapport aux réactions extérieures qui peuvent les stimuler. — J'ai envoyé à l'Académie, en juillet et en septembre 1857, deux Notes sur ces sortes de réactions qui sont assez complexes et qui paraissent être pour la plus grande part une conséquence du magnétisme condensé.

dynamiques provoquées par les spires de l'hélice magnétique, et le même raisonnement peut être fait quand on approche l'hélice de cette résultante.

Descartes et plusieurs autres physiciens après lui avaient démontré que, si l'on applique sur l'un des pôles d'un aimant droit une masse de fer, on augmente la force attractive de l'autre pôle et cela d'autant plus que cette masse est plus considérable. M. Dub, voulant rattacher ce phénomène aux lois des électro-aimants, admet que cet accroissement de force provient de ce que le noyau magnétique devenant plus long les forces doivent augmenter ; mais cette augmentation de force ne serait, suivant sa loi, que comme les racines carrées des longueurs, et, d'après mes expériences, cet accroissement est infiniment plus énergique, puisque la force se trouve souvent plus que triplée. Je démontre d'ailleurs que cet accroissement peut se produire avec des masses de toutes formes qui n'allongent pas sensiblement la longueur du barreau et alors même que ces masses ne sont pas en contact immédiat avec le noyau magnétisé. Je fais voir en même temps que le développement de la surface magnétique influe beaucoup sur le phénomène. Or de tout cela je conclus que l'accroissement d'énergie constatée tient principalement aux effets de condensation magnétique développés au contact des deux pièces et qui a pour effet secondaire de stimuler le pôle libre de l'aimant, puisque les polarités d'un aimant sont solidaires l'une de l'autre.

Je démontre d'ailleurs directement cette déduction en plaçant alternativement sur une tige assez longue de fer doux des hélices magnétisantes de différentes longueurs, mais composées avec une même longueur de fil, et je fais voir que c'est l'hélice qui recouvre entièrement cette tige qui exerce la force attractive la moins grande, bien que fournissant le nombre de spires le plus considérable. L'hélice qui donne le maximum d'effet est précisément celle qui n'enveloppe la tige que sur un tiers de sa longueur à partir du pôle actif. Or, quand ces mêmes hélices enveloppent des noyaux de fer de même longueur qu'elles, l'effet produit est tout différent ; la force augmente alors avec la longueur des hélices dans un rapport particulier, moins rapide que celui de l'accroissement des longueurs, mais qui, dans mes expériences, semblait être celui d'une progression arithmétique, alors que les longueurs croissaient en progression géométrique, et la raison de cette progression semblait augmenter proportionnellement au nombre des éléments de la pile. Je ne donne toutefois ces derniers résultats que comme s'appliquant à un cas particulier.

Les effets que je viens de signaler expliquent la force relativement considérable des électro-aimants en fer à cheval n'ayant qu'une seule bobine sur l'une de leurs branches, électro-aimants que j'ai été le premier à em-

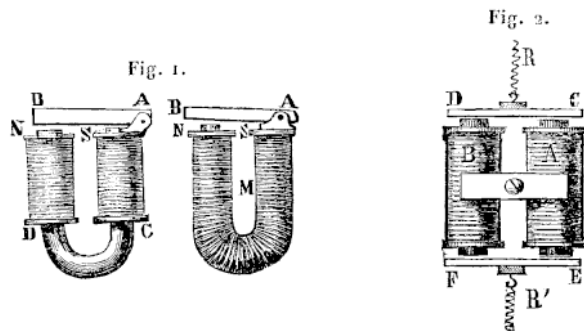
ployer et qui sont presque aussi énergiques, pour un nombre de spires donné, qu'un électro-aimant à deux bobines.

Recherches sur les conditions de force des électro-aimants par rapport à la forme et à la disposition des armatures. — J'ai entrepris sur cette question un grand nombre d'expériences dont les résultats sont consignés dans mon *Étude du magnétisme*. Les conclusions de ce travail, fait principalement au point de vue des applications électriques et présenté en extrait à l'Académie dans sa séance du 9 novembre 1857, peuvent être formulées de la manière suivante :

1° La force attractive des électro-aimants, quels qu'ils soient, est d'autant plus grande que la surface de leur armature qui reçoit le plus directement l'influence magnétique est plus développée, et que la masse de fer exposée à cette influence est mieux mise en rapport avec l'énergie magnétique de l'électro-aimant.

2° Il résulte de là que l'attraction des électro-aimants à deux branches est plus forte à distance avec des armatures prismatiques disposées à plat devant les pôles de l'électro-aimant, qu'avec des armatures disposées sur champ, tandis que l'inverse a lieu quand l'attraction s'effectue au contact. Pour l'attraction à distance, les effets produits peuvent être entre eux dans le rapport de 59 à 92.

3° La disposition électromagnétique dans laquelle les armatures se meuvent *angulairement* par rapport à la ligne des pôles de l'électro-aimant, c'est-à-dire sont articulées par l'une de leurs extrémités dans le voisinage de l'un des pôles de l'électro-aimant, comme on le voit *fig. 1*, est beaucoup



plus favorable que celle dans laquelle les armatures se meuvent *parallèlement* à cette même ligne, ce qui les suppose adaptées en croix à l'extrémité d'un levier basculant, comme on le voit *fig. 2*. Cet avantage est surtout

manifeste pour les électro-aimants boiteux, dont la force peut varier dans le rapport de 125 à 64.

4° Les armatures prismatiques sont attirées avec d'autant plus de force que *leur surface est plus grande*, mais la *forme* de ces surfaces a une immense influence sur cette attraction, à cause de la distance moyenne de tous les points qui subissent l'influence de l'électro-aimant, laquelle distance peut varier considérablement suivant cette forme. Ainsi *une armature cylindrique, de même surface qu'une armature prismatique, est attirée avec beaucoup moins de force que cette dernière*, et le rapport de ces forces peut être comme celui des nombres 85 et 44.

5° Par suite d'une réaction analogue à celle qui précède, *l'attraction latérale* des électro-aimants dont les noyaux ressortent un peu des bobines est infiniment *moins énergique que l'attraction normale*, c'est-à-dire que celle qui est exercée dans le sens des axes de ces noyaux ; le rapport de ces forces est comme celui des nombres 33 et 18.

6° Les armatures constituées par des *aimants persistants* ne facilitent l'attraction que quand elles sont disposées à distance de manière à se mouvoir parallèlement à la ligne des pôles de l'électro-aimant. Dans les autres cas, l'inverse a lieu, attendu que l'action magnétique exercée sur le fer est beaucoup plus énergique que celle exercée sur l'acier.

7° La force attractive résultant de la fermeture momentanée d'un courant est toujours, pour une même distance d'écartement de l'armature, plus grande que celle provenant de l'action continue du même courant qu'on chercherait à vaincre en augmentant la force antagoniste. Ce fait doit être rapporté à des effets de force vive et aux effets de polarisation de la pile. Le rapport des forces attractives dans les deux cas est comme celui des nombres 136 et 95.

8° Lorsque la force attractive d'un électro-aimant *se divise entre plusieurs armatures*, la force attractive totale est augmentée, mais la *force individuelle de chacune d'elles est d'autant plus affaiblie que leur nombre est plus grand* ; c'est par une raison analogue que, quand les deux pôles d'un électro-aimant sont très-rapprochés, la force attractive diminue, car l'une des branches de cet électro-aimant joue par rapport à l'autre le rôle d'une seconde armature.

9° La force attractive d'un électro-aimant et d'une armature qui n'ont pas encore servi est plus considérable, pour une force électrique donnée, que celle du même électro-aimant et de la même armature qui ont subi préventivement une forte aimantation, et, pour obtenir de ce même électro-aimant et de cette même armature une force à peu près égale à celle qu'ils

produisaient primitivement, il faut renverser le sens du courant ; encore cette plus grande puissance n'existe-t-elle que pour la première fermeture du courant.

10° L'attraction à distance des électro-aimants se trouve affaiblie quand, par une cause quelconque, une première fermeture de courant n'a pas été suivie d'une attraction complète de l'armature ; cela tient, ainsi que la réaction précédente, aux effets du magnétisme rémanent.

11° La force répulsive exercée par les électro-aimants sur des armatures aimantées est bien loin de correspondre à la force attractive qui peut être exercée sur elles par le renversement des pôles de l'électro-aimant. Ce fait, reconnu dès l'origine des études magnétiques et qui est longuement discuté par M. Mussembroeck et l'abbé Nollet, s'explique aisément par la réaction de l'aimant agissant comme induisant, laquelle réaction tend à développer sur l'armature une polarité contraire à celle qu'elle possède. Or dans l'effet attractif cette réaction s'effectue dans le même sens que la réaction dynamique de l'aimant, tandis qu'elle s'effectue en sens opposé dans le cas de la répulsion. (Voir mon *Étude du magnétisme*, p. 103, etc.)

Recherches sur les conditions de force des électro-aimants par rapport à la masse de fer des noyaux magnétiques. — Les conditions de force des électro-aimants, par rapport à leur diamètre et à leur degré de saturation magnétique, peuvent être dans certaines circonstances en contradiction entre elles, car si l'on gagne de la force en augmentant le diamètre des noyaux magnétiques, on en perd quand, ces noyaux n'étant pas saturés, les diamètres sont trop grands, et cela par suite de réactions secondaires exercées sur la partie extérieure des noyaux par la masse centrale qui est inerte et qui joue le rôle d'une seconde armature. On a voulu obvier à cet inconvénient en employant des noyaux tubulaires qui rendaient en même temps les alternatives d'aimantation et de désaimantation plus faciles ; mais on a trouvé avec ce système un amoindrissement considérable de la force attractive qui a dû y faire momentanément renoncer. J'ai alors cherché à étudier les conditions de force de ces sortes d'électro-aimants, et, après de nombreuses expériences consignées dans un Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, en 1862, je suis arrivé aux conclusions suivantes :

1° La plus grande force des électro-aimants à noyau massif n'est pas la conséquence de leur plus grande masse métallique, mais dépend principalement de la disposition des surfaces polaires à l'égard de l'armature.

2° Si l'extrémité polaire d'un noyau tubulaire est munie à l'intérieur du

tube d'un petit bouchon de fer qui peut être très-mince, la force de l'électro-aimant est à peu près la même que si le noyau est massif; mais cet effet n'a pas lieu si l'on augmente la surface polaire en entourant d'un anneau de fer l'extrémité du tube, ce qui prouve que ce n'est pas tant l'accroissement de la surface polaire qui réagit sur la force attractive que la disposition de cette surface.

3° Si l'on considère que dans le cas de l'anneau celui-ci agit comme armature et que cette action s'effectue par dissémination au préjudice de l'attraction exercée au dehors, comme quand un électro-aimant réagit à la fois sur plusieurs armatures, tandis que, avec le bouchon de fer, il y a concentration des effets magnétiques produits par les différentes parties de la paroi interne du tube, tant en dessous du bouchon que latéralement, on peut comprendre qu'il doit y avoir une différence considérable d'énergie dans les deux cas, et l'on peut se rendre compte aisément de l'effet de la concentration magnétique qui se produit dans le second cas, par la projection du bouchon de fer en dehors du tube au moment où celui-ci vient à être aimanté, quand toutefois le bouchon n'est pas trop serré dans le tube.

4° Il résulte de ces effets que, pour employer utilement les électro-aimants tubulaires, on doit munir leurs extrémités polaires de bouchons de fer d'une épaisseur au moins égale à celle du tube. On gagne à cette disposition un accroissement de force qui, dans les électro-aimants télégraphiques, peut-être dans le rapport de 25 à 38.

Quant à l'épaisseur des noyaux tubulaires, elle doit être en rapport avec la force du courant qui doit les aimanter. L'expérience a montré à M. Hughes que, pour les électro-aimants télégraphiques, cette résistance doit être le quart du diamètre du tube; mais j'ai reconnu également par expérience que, pour les électro-aimants de grand diamètre, on pouvait réduire cette épaisseur dans une plus grande proportion. Dans un Mémoire inséré dans mes *Recherches sur les meilleures conditions de construction des électro-aimants*, p. 112, je traite du reste assez longuement cette question et je montre que le diamètre c' du tube doit avoir pour expression

$$c' = c \sqrt[3]{\frac{x^2}{4(x-1)}};$$

c étant le diamètre d'un noyau de fer plein, susceptible de s'aimanter à saturation, x le diviseur de c' pour représenter l'épaisseur. Or cette valeur de x peut être portée sans grand inconvénient jusqu'à 7.

Recherches sur les meilleures conditions de construction des électro-aimants. —

Dans ce travail, présenté à l'Académie des Sciences en juin 1871 [voir ma brochure sur ce sujet et mon *Exposé des applications de l'électricité* (3^e édition, t. II, p. 10 et suiv.)], je pars des lois de MM. Jacobi, Dub et Muller pour déterminer les dimensions les plus convenables des électro-aimants et la résistance que doit présenter leur hélice magnétisante pour correspondre avantageusement à des conditions données.

Je commence d'abord par déterminer l'expression algébrique de la longueur du fil d'une bobine magnétisante et celle du nombre de ses tours de spires.

En désignant par a l'épaisseur de cette hélice, par b sa longueur, par g le diamètre du fil, y compris sa couverture de soie, par c le diamètre du noyau de fer de l'électro-aimant, par E la force électromotrice de la pile, par R la résistance du circuit extérieur, par t le nombre des tours de spires, enfin par H la longueur de l'hélice, j'arrive aux expressions

$$t = \frac{ab}{g^2}, \quad H = \frac{\pi ba(a+c)}{g^2},$$

de sorte que la force attractive F de l'électro-aimant a pour valeur

$$F = \frac{E^2 a^2 b^2}{[Rg^2 + \pi ba(a+c)]^2},$$

expression susceptible de plusieurs conditions de maximum, suivant qu'on fait varier les quantités a , b , c et g , mais qui impliquent pour un électro-aimant de dimensions données et avec un fil de grosseur également donnée une longueur d'hélice plus grande que la résistance du circuit extérieur R dans le rapport de 1 à $\frac{a+c}{a}$; car la variable est alors la quantité a qui est la seule quantité en rapport avec la résistance de l'hélice et le nombre des tours de spires; or, avec cette variable, la valeur de R , qui rend nulle la dérivée de la formule précédente, est $\frac{\pi ba^2}{g^2}$.

Si l'on tient compte de ces conditions de maximum et qu'on cherche celles qui sont en rapport avec les quantités c et b considérées à leur tour comme variables et par conséquent soumises aux lois de Dub et de Muller qui les concernent, on arrive à trouver que a doit être égal à c , et que b doit représenter $6c$ pour un électro-aimant simple, $12c$ pour un électro-aimant à deux branches; d'où il résulte que la quantité $\frac{a+c}{a}$, par laquelle il faut multi-

plier R_1^2 pour obtenir H dans les conditions de maximum, devient égale à 2 et que la formule générale qui place un électro-aimant dans ses meilleures conditions est

$$F = \frac{E^2 m^2 c^4}{(R g^2 + 2 \pi c^3 m)^2},$$

m représentant le facteur 12 ou 6, suivant que l'électro-aimant est simple ou double.

En tenant ensuite compte, dans la formule, des effets des dérivations du courant sur les lignes et de ceux qui résultent de l'état de saturation du noyau magnétique et des réactions d'induction, on arrive aux conclusions suivantes, qui peuvent être d'un grand secours dans les applications électriques :

1° Les conditions de maxima qui peuvent servir à la détermination des divers éléments entrant dans la construction des électro-aimants sont complexes et doivent s'étendre aux rapports réciproques de l'hélice magnétisante avec les dimensions de l'électro-aimant, le nombre de spires qu'elle peut fournir, la résistance du circuit et la grosseur du fil qui constitue l'hélice.

2° Ces conditions varient suivant que l'intensité du courant, qui doit animer cet électro-aimant, développe en lui un état magnétique égal, inférieur ou supérieur à celui qui correspond au point de saturation magnétique, et suivant que le circuit extérieur est isolé ou non isolé :

3° Sur un circuit parfaitement isolé et dans l'hypothèse d'un état magnétique voisin de celui correspondant au point de saturation, auquel cas les forces attractives sont proportionnelles aux carrés des intensités du courant et aux carrés des nombres de tours de spires, l'hélice magnétisante doit avoir une épaisseur égale au diamètre des noyaux magnétiques et une résistance double de celle du circuit extérieur. La longueur de chacune des branches de l'électro-aimant lui-même doit être égale à six fois son diamètre, et la traverse qui réunit les deux branches ainsi que l'armature doit avoir une longueur égale à celle de ces branches. Enfin l'armature devra être de forme prismatique, d'une épaisseur un peu inférieure au quart du diamètre des barreaux magnétiques, disposée à plat devant les pôles de l'électro-aimant et articulée sur l'un d'eux de manière à être en contact avec lui par l'extrémité articulée.

4° Dans l'hypothèse d'un état magnétique inférieur à celui qui correspond au point de saturation, auquel cas les forces croissent dans un rapport plus grand que celui des carrés des intensités du courant, l'hélice magnétisante doit avoir une épaisseur plus grande que le diamètre du noyau magnétique,

une résistance moindre que celle du circuit extérieur, et les dimensions du noyau magnétique lui-même doivent être inférieures à celles qui auraient été déterminées si l'on fût parti de l'hypothèse de la proportionnalité des forces aux carrés de l'intensité du courant.

5° Sur un circuit non isolé, comme un circuit télégraphique, les conditions que nous venons d'exposer, tout en restant les mêmes, se trouvent par le fait modifiées en ce sens, que la résistance du circuit extérieur sur laquelle elles sont basées doit être considérée comme étant réduite dans le même rapport que la résistance totale de ce circuit extérieur s'est trouvée elle-même diminuée par le fait des dérivations.

6° La détermination des dimensions d'un électro-aimant, pour correspondre à un circuit extérieur de résistance donnée, est fournie par les formules

$$c = \sqrt[3]{\frac{H g^2}{2 \pi m}} \quad \text{ou} \quad c = \sqrt[3]{\frac{R g^4}{f^2} 9947,16068},$$

c représentant le diamètre du noyau magnétique, H la longueur de l'hélice magnétisante, g le diamètre du fil constituant l'hélice avec sa couverture de soie, m le coefficient constant par lequel il faut multiplier le diamètre de l'électro-aimant pour représenter sa longueur, R la résistance du circuit extérieur estimée en fonction de l'unité métrique de fil télégraphique de 4 millimètres, f^2 un coefficient variable par lequel il faut diviser g pour obtenir le diamètre du fil dépourvu de sa couverture isolante.

7° Pour déterminer les dimensions d'un électro-aimant sans spécification de la grosseur du fil, et de manière que son état magnétique soit voisin de celui qui correspond au point de saturation, il faut d'abord calculer c en partant de la formule

$$c = \sqrt[3]{(E - IR)^2 \cdot 0,00000000000000339701761},$$

I indiquant l'intensité du courant dans le circuit où doit être interposé l'électro-aimant, et dont la résistance totale est égale à $3 R$, E représentant la force électromotrice de la pile.

La quantité c étant ainsi déterminée, la valeur de g se déduit de l'équation

$$g^2 = f \sqrt{\frac{c^3}{R} \cdot 0,0001005312}.$$

8° La force des électro-aimants gagne beaucoup, du moins dans les limites entre lesquelles les rapports d'accroissement des forces restent proportion-

nels aux carrés des intensités du courant, quand on augmente le diamètre du fil de l'hélice; car si ce diamètre g devient gv , le diamètre de l'électro-aimant doit être $c \cdot v^{\frac{4}{3}}$, et l'augmentation de force qui en résulte est dans le rapport de F à $F \cdot v^{\frac{10}{3}}$. Ainsi, en doublant le diamètre du fil d'une hélice magnétisante, la force qui est produite, en plaçant l'électro-aimant dans ses conditions de maximum, est plus de neuf fois plus grande que celle correspondant au fil avant son accroissement de diamètre.

9° L'extra-courant produit au sein des électro-aimants, au moment de l'aimantation des noyaux magnétiques, et qui est d'autant plus fort que le nombre des spires de l'hélice est plus considérable, agissant en sens contraire du courant transmis, exige que la résistance de l'hélice des électro-aimants soumis à l'action de courants instantanés soit réduite dans une grande proportion; et cette cause de réduction, jointe à celles dont il a été question dans les paragraphes 4 et 5, fait que la longueur du fil des électro-aimants télégraphiques, loin de présenter une résistance double de celle du circuit, doit en avoir une beaucoup moindre.

L'expérience confirme, du reste, toutes les conclusions que nous avons formulées. Ainsi, un électro-aimant, muni d'une hélice magnétisante de 75 kilomètres de résistance et animé par le courant d'une pile de Daniell de 20 éléments, ne fournit sur un circuit isolé de 100 kilomètres que 15 grammes de force attractive à 1 millimètre de distance, alors qu'il en provoque une de 25 grammes dans les mêmes conditions de résistance du circuit extérieur, lorsque sa bobine est remplacée par une autre de fil plus fin, il est vrai, mais présentant une résistance de 200 kilomètres. La raison en est que cette dernière bobine, étant près de *deux fois plus résistante* que le circuit extérieur, se trouve à peu près placée dans les conditions de maximum que nous avons déduites, tandis que la première bobine a une résistance qui en est fort éloignée.

D'un autre côté, les expériences de M. Hughes montrent que, sur un circuit télégraphique de 500 kilomètres, le meilleur effet des électro-aimants correspond à une résistance de l'hélice magnétisante ne dépassant pas 120 kilomètres. Or, si l'on calcule la résistance totale d'une pareille ligne, et si l'on considère que dans les transmissions télégraphiques les fermetures de circuit sont d'une si courte durée que les électro-aimants employés ne peuvent jamais être magnétisés à saturation, on arrive à trouver que le chiffre indiqué par M. Hughes est bien celui qui correspond aux conditions de maximum que nous avons posées, surtout si l'on réfléchit que l'extra-courant

d'induction, qui se produit dans un électro-aimant au moment des fermetures du courant et qui agit en sens contraire du courant transmis, est d'autant plus intense que le nombre des tours de spires de l'électro-aimant est plus considérable.

Recherches sur les conditions de maximum de la résistance des galvanomètres.

— Ce travail, qui figure dans le t. II de mon *Exposé des applications de l'électricité* (3^e édition, p. 297) et qui a été l'objet d'une Note récente présentée à l'Académie, est une suite des recherches précédentes ; car en recherchant pour le moment magnétique F d'un galvanomètre la véritable expression qui le représente, j'arrive à l'expression suivante :

$$F = \frac{Eab}{g^2R + ab[(a+c)\pi + 2d]},$$

qui est à peu près la même que celle de la force propre des électro-aimants, et dans laquelle d représente la distance entre les deux parties arquées du cadre galvanométrique et c le diamètre de ces parties arquées. En recherchant les conditions de maximum de cette formule par rapport à la variable a , qui est la seule quantité qui puisse varier dans un instrument donné avec un fil de grosseur donnée, on arrive à déduire, pour conditions de maximum, $R = \frac{\pi b a^2}{g^2}$, conditions qui sont absolument les mêmes que pour les électro-aimants et qui montrent que l'hélice du multiplicateur doit avoir une résistance plus grande que celle du circuit extérieur d'une quantité représentée par $\frac{ab}{g^2}(\pi c + 2d)$, qui se réduit à $\frac{ab}{g^2}\pi c$ avec un galvanomètre dont le cadre est représenté par une bobine.

Je démontre ensuite que, en établissant les deux résistances d'un galvanomètre dans l'hypothèse où $H = R$ et $H = R + \frac{ab}{g^2}\pi c$, les moments magnétiques sont entre eux dans le rapport

$$\frac{\sqrt{a^2 + 2ar + r^2 + r}}{\sqrt{a^2 + 2ar + r}},$$

r représentant le demi-diamètre du cadre galvanométrique.

Recherches sur la détermination des constantes des boussoles des sinus à plusieurs multiplicateurs. — Quand on veut comparer les intensités des cou-

rants fournies par des boussoles de différents degrés de sensibilité, il faut connaître la valeur des constantes des instruments, et les formules indiquées par M. L. Clark dans son formulaire électrique permettent de les calculer aisément en fonction même des unités de l'Association britannique; mais, quand un même instrument comporte plusieurs multiplicateurs pour être appliqués à tel ou tel degré de sensibilité exigé, la question devient plus délicate, et j'ai imaginé dans ce but la méthode suivante, qui exige deux opérations.

On commence d'abord par examiner l'intensité I produite par le premier multiplicateur interposé dans le circuit d'une pile constante et ayant une résistance r , et l'on recherche ensuite quelle résistance r' pourra ramener l'intensité fournie par le second multiplicateur à celle constatée en premier lieu; on expérimentera de nouveau avec le premier multiplicateur, en prenant cette fois r' pour résistance du circuit, et le rapport des intensités I et I' donnera celui des constantes $\frac{I}{I'}$ des deux instruments ou la valeur d'une des constantes, si l'autre est prise comme unité.

En effet, l'intensité fournie par le premier multiplicateur étant dans ces conditions égale à celle fournie par le second, on se trouve avoir

$$R + \rho' + r' = l(R + \rho + r),$$

R représentant la résistance de la pile, ρ et ρ' celles du galvanomètre, r et r' les résistances additionnelles; ou si, pour plus de simplicité, on représente $\rho' + r'$ par r'_2 et $\rho + r$ par r_2 , on aura

$$R + r'_2 = l(R + r_2);$$

mais les intensités I et I' fournies par la seconde expérience peuvent donner la valeur de R , et celle-ci, étant substituée à R dans l'équation précédente, il vient

$$I' r'_2 - l r_2 + r'_2 (I - I') = l [I' r'_2 - l r_2 + r_2 (I - I')],$$

d'où

$$l = \frac{I}{I'};$$

naturellement r'_2 dans la dernière expérience doit être égal à $\rho' + \rho + r'$, puisque la résistance ρ se trouve forcément maintenue.

Recherches sur le magnétisme rémanent, présentées à l'Institut dans sa séance du 9 février 1859. — Depuis longtemps, j'avais démontré qu'avec des

électro-aimants droits, un aimant fixe placé dans le prolongement de l'armature mobile pouvait suffire pour détruire les effets nuisibles du magnétisme rémanent, à condition que le pôle de cet aimant fixe opposé à l'armature fût de même nom que le pôle de l'électro-aimant agissant sur elle, et j'avais expliqué cet effet en disant qu'au moment où le courant ne passe plus dans l'électro-aimant le magnétisme de l'armature, condensé en son point de contact avec le pôle de l'électro-aimant, se trouve déplacé par l'aimant fixe, et qu'à la place de ce magnétisme condensé vient se substituer du magnétisme repoussé (par conséquent du magnétisme de même nom que celui du pôle de l'électro-aimant), d'où il résulte une répulsion.

Il restait à trouver le moyen d'obtenir un semblable effet de la part des électro-aimants à deux branches, et c'est ce moyen qui fait l'objet principal du Mémoire dont nous parlons. Je montre d'abord, dans ce travail, que la destruction du magnétisme rémanent est impossible avec les électro-aimants à deux bobines, mais qu'avec les électro-aimants boiteux elle est très-réalisable. Il suffit, en effet, d'ajouter à la disposition magnétique décrite précédemment un second aimant que l'on fixe sur la branche sans bobine, de telle manière que le pôle appliqué sur la culasse de l'électro-aimant soit de nom contraire à celui développé à l'extrémité de la branche recouverte par l'hélice.

Il arrive alors qu'au moment où le courant cesse de circuler dans l'électro-aimant, le noyau magnétisé tend à prendre la polarité communiquée à la culasse de celui-ci par l'aimant qui est en contact avec elle, c'est-à-dire une polarité contraire à celle qui constitue le magnétisme rémanent, et il en résulte une tendance à la destruction de celui-ci; d'un autre côté, le pôle de l'aimant placé devant l'armature déplace le magnétisme condensé de celle-ci, et tend d'autant plus facilement à lui substituer du magnétisme repoussé, qu'il est aidé dans cette réaction par l'aimant placé sur la branche sans bobine (*Voir le journal l'Institut*, n° 1310).

Mémoire sur la force directrice des aimants, présenté à l'Institut, dans sa séance du 5 mars 1860. — Dans une Communication déjà ancienne, j'avais démontré que, si une lame de fer doux est disposée de manière à se mouvoir tangentiellement devant le pôle d'un aimant, elle est attirée jusqu'à ce que sa ligne médiane coïncide avec le centre polaire. Cette réaction, qui constitue pour les électro-aimants une sorte de force directrice, est, comme on le comprend aisément, le résultat de l'attraction mutuelle des deux résultantes qui représentent la totalité des forces polaires développées sur l'électro-

aimant et sur l'armature. Une réaction du même genre, mais fondée sur la répulsion, se manifeste quand, sur une lame de fer uniformément polarisée, on place parallèlement à elle une seconde lame pouvant pivoter sur son centre.

Ainsi je démontre que, si l'un des pôles d'un électro-aimant droit se termine par une barre de fer doux un peu longue, bien dressée et bien polie, et qu'on applique sur elle une autre barre de fer doux un peu plus courte, mais légèrement bombée et disposée de manière à pouvoir pivoter aisément sur son centre, il arrivera, quand cette dernière barre sera placée longitudinalement sur la première, qu'elle se trouvera déviée avec force au moment du passage du courant à travers l'électro-aimant soit à gauche, soit à droite, jusqu'à ce qu'elle se soit mise en croix sur la barre fixe, position qui constitue son état d'équilibre stable. J'explique cet effet en disant que la barre mobile, se trouvant influencée par le pôle de l'électro-aimant qui est épanoui sur toute la surface de la barre fixe, est polarisée par celle-ci, de telle manière que le fluide attiré se trouve dissimulé au point de contact des deux barres, et que les surfaces extérieures de celles-ci, possédant une polarité semblable sur toute leur étendue, il en résulte une répulsion qui s'effectue dans un sens ou dans l'autre, suivant que l'axe de la barre mobile croise à gauche ou à droite l'axe de la barre fixe. Or ce n'est que quand les deux axes se croisent à angle droit que les forces répulsives se trouvent équilibrées de part et d'autre.

Je montre ensuite que ce phénomène peut, jusqu'à un certain point, expliquer l'augmentation d'énergie des électro-aimants droits surexcités par une masse de fer, quand cette masse présente une plus grande surface sans changer de volume. En effet, l'excitation de l'électro-aimant est moins grande quand, dans l'expérience précédente, le fer mobile est placé parallèlement sur la barre fixe, que quand il est placé en croix, de sorte que l'on peut en conclure que c'est au défaut d'équilibre magnétique des particules aimantées de la masse de fer qu'il faut attribuer la différence de surexcitation qui est produite quand elle présente une surface plus ou moins grande. (*Voir mon Étude des courants électriques*, p. 158).

Recherches sur les électro-aimants à fil nu. — J'ai présenté à l'Académie, en 1865, plusieurs Notes sur cette question ; mais ayant été induit en erreur par des différences considérables de conductibilité dans les fils employés dans les électro-aimants qui m'avaient été remis par l'inventeur, j'avais été dans l'origine rechercher bien loin une explication qui découlait naturelle-

ment, comme je l'ai dit dans ma dernière Communication, du contact très-imparfait qui existe entre les spires d'un électro-aimant enroulé d'après les procédés ordinaires. Ce qui est certain, c'est que, malgré ce contact, les électro-aimants à fil nu ont une force aussi grande que les électro-aimants à fil couvert, et la résistance du fil de l'hélice, du moins dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire quand les spires ne sont pas trop serrées, est presque la même dans les deux cas, ainsi que je l'ai reconnu après de très-nombreuses expériences. C'est à la suite de ces expériences que j'ai reconnu cette propriété importante des électro-aimants à fil nu de ne pas fournir d'étincelles d'extra-courant, propriété qui est surtout manifeste avec les gros fils de 1 à 2 millimètres de diamètre. Cet effet semble donc montrer que le contact des spires entre elles existe bien par le fait, mais d'après les formules de Ohm on peut reconnaître que les dérivations dans ces conditions ne peuvent s'effectuer que sous l'influence d'une certaine tension du courant. (*Voir les Annales télégraphiques*, t. VIII, p. 203.)

Recherches sur les durées des fermetures de circuit nécessaires au bon fonctionnement des appareils télégraphiques. (*Voir le journal l'Institut*, t. XXXII, p. 412). — J'ai entrepris en 1864, pour bien fixer les limites des aimantations maxima des électro-aimants dans les appareils télégraphiques et déterminer les avantages qu'on pourrait en tirer dans la pratique, une série d'expériences dont voici sommairement les résultats :

1° Les durées de fermeture de courants pour obtenir les meilleurs conditions de fonctionnement des électro-aimants, du moins des électro-aimants télégraphiques d'une résistance de 120 kilomètres, doivent être d'autant plus grandes que la ligne est plus longue et que la tension électrique est plus faible.

2° Cet accroissement des durées de fermeture du courant, à mesure que la ligne s'allonge, suit une progression beaucoup plus rapide que l'accroissement de longueur de la ligne elle-même ; ainsi, tandis que les rapports de l'accroissement de résistance de la ligne sont entre eux comme les nombres 1,67, 2,34, 3,03, les rapports des durées de fermeture du circuit correspondantes sont comme 2,006, 3,296, 4,732, etc.

3° Cet accroissement plus rapide des durées de fermeture du courant devient encore plus rapide quand l'intensité de la pile diminue de tension.

4° Si une même force antagoniste est opposée à l'action de l'électro-aimant dans les différentes conditions de résistance de la ligne, ces durées de fermeture devront croître dans un rapport à peu près constant, comme si

elles étaient multipliées par un même coefficient ne variant qu'avec la force antagoniste et proportionnellement à elle. Pour une force représentée par 1,5 ce coefficient doit être à peu près 4.

5° Quand les durées de fermeture des circuits restent constantes, les forces maxima auxquelles elles donnent lieu sont entre elles dans un rapport à peu près inverse à celui qui aurait existé entre ces durées, si elles eussent été susceptibles de varier et que la force antagoniste fût restée constante.

6° Les durées minima des fermetures de circuit pour qu'un appareil Bréguet à cadran puisse fonctionner avec une pile de 28 éléments de Daniell sont :

1° Avec un circuit sans autre résistance que celle de l'électro-aimant télégraphique (120 kil.)	0",00344
2° Avec un circuit extérieur de 100 kil	0,00690
3° Avec un circuit extérieur de 200 kil	0,01130
4° Avec un circuit extérieur de 300 kil	0,01628
5° Avec un circuit extérieur de 370 kil	0,02616

7° Les durées correspondant aux forces maxima du même appareil sont :

1° Avec le circuit sans résistance extérieure	0",10964
2° Avec le circuit de 100 kil	0,15988
3° Avec le circuit de 200 kil	0,36282

Dans les expériences que je viens de rapporter, les prolongations des fermetures de courant que j'ai signalées tiennent à deux causes : d'abord à l'inertie magnétique des électro-aimants, mais aussi à la vitesse de la propagation électrique qui, dans le cas où j'ai expérimenté, ne laissait pas que d'être assez considérable ; car les résistances étaient représentées par des fils enroulés sur des bobines, et la propagation y est beaucoup plus longue que sur des fils étendus en ligne droite.

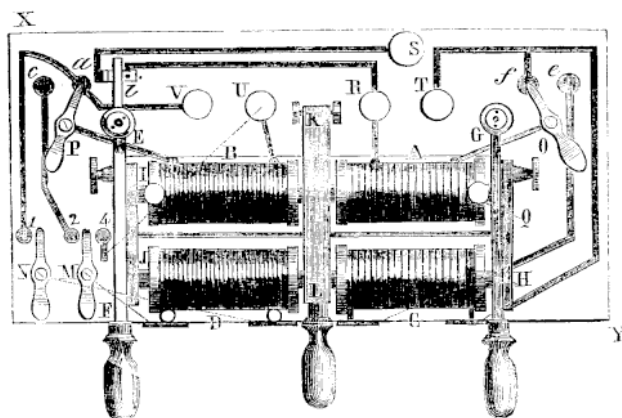
Si le circuit au lieu d'être isolé est soumis à des dérivations, les effets sont assez complexes et conduisent à des conséquences diamétralement opposées, suivant le chiffre de la résistance du circuit.

Avec un circuit peu résistant, les dérivations placées près de l'électro-aimant et par conséquent dans les conditions les plus désavantageuses, au lieu de tendre à faire augmenter les durées de fermeture du circuit, tendent au contraire à les faire diminuer ; mais, si le circuit est très-résistant, l'inverse a lieu, et la limite de la résistance à laquelle s'effectue ce renversement

d'effet est d'autant plus éloignée que la dérivation est plus résistante. Cela tient à ce que dans le premier cas une grande partie du courant passe par la dérivation, et comme le temps d'une émission (charge et décharge) est moins long quand le circuit est soumis à des dérivations que quand il est isolé, l'effet dont il est capable est obtenu plus vite. Dans le second cas, la partie du courant qui traverse l'électro-aimant étant moins affectée par la dérivation, la durée d'émission du courant est plus longue, et comme l'intensité de celui-ci est moindre que sur le circuit isolé, les durées des fermetures du courant doivent être plus longues. (*Voir mes Recherches sur les meilleures conditions de construction des électro-aimants*, p. 100).

III. — SUR L'INDUCTION.

Recherches sur l'origine des courants induits dans les différentes machines magnéto-électriques (présentées à l'Institut dans ses séances du 1^{er} juin et du 19 octobre 1859). — Au moyen d'un appareil très-simple représenté dans la figure ci-dessous, j'ai démontré :



1^o Que, en outre des courants résultant de l'aimantation et de la désaimantation des noyaux magnétiques dans les machines d'induction, peuvent exister d'autres courants qu'on pourrait appeler *de surexcitation* et *d'atté-*

nuation, qui résultent d'un accroissement ou d'un affaiblissement d'énergie communiqué à ces barreaux, ceux-ci étant déjà aimantés;

2° Que le rapprochement d'une masse de fer de l'un ou de l'autre des pôles du noyau magnétique, préalablement aimanté, d'une bobine d'induction, peut fournir des courants de surexcitation ou d'atténuation suivant que, d'après la manière dont l'aimantation est communiquée à ce noyau, cette masse tend à renforcer ou à affaiblir la force magnétique de l'aimant; et quand je parle de renforcement ou d'affaiblissement de la force magnétique de l'aimant, je n'entends pas parler du renforcement de son action polaire extérieure, car le plus souvent l'addition des masses de fer diminue cette action polaire, mais simplement d'une excitation produite par l'action réflexe exercée par ces pièces et qui équivaut à une aimantation plus ou moins énergique communiquée au noyau magnétique, ou, dans certains cas, à un déplacement en avant ou en arrière de la résultante des spires magnétiques;

3° Que, avec un noyau de fer magnétisé par son contact avec le pôle d'un aimant dont il forme en quelque sorte un épanouissement, le rapprochement de la masse de fer de l'extrémité libre de ce noyau fournit un courant de surexcitation, tandis que ce rapprochement fait à l'extrémité en contact avec l'aimant détermine un courant d'atténuation; mais avec une bobine d'induction dont le noyau magnétique est aimanté directement par le courant, le rapprochement de la masse de fer de l'une ou de l'autre extrémité détermine toujours des courants de surexcitation. Naturellement, l'éloignement de cette masse de fer produit dans tous les cas des effets inverses;

4° Qu'il résulte de ces effets qu'une bobine d'induction dont le noyau se trouve directement aimanté ou désaimanté par un courant produit des effets énergiques plus développés, du moins sous le rapport de la quantité, quand ses extrémités polaires sont munies de masses de fer, ainsi que l'a reconnu le R. P. Cecchi;

5° Que, de même que par l'excitation les aimants peuvent avoir leur force primitive triplée et même quadruplée, de même les courants de surexcitation peuvent être plus énergiques que les courants de simple aimantation;

6° Que les dispositions qui, en renforçant l'action magnétique des noyaux d'induction, *augmentent considérablement l'intensité des courants résultants*, peuvent dans certains cas, notamment dans celui des électro-aimants fermés ou annulaires, *diminuer considérablement la tension de ces courants* en raison de la moindre rapidité avec laquelle s'effectuent les alternatives d'aimantation et de désaimantation. Il peut arriver alors que ce soient les courants

qui ont la moindre action sur le galvanomètre qui donnent les effets physiologiques les plus énergiques, ou les plus longues étincelles, si l'appareil est disposé en conséquence. Ce principe explique ce fait signalé par M. Ruhmkorff, en 1871, qu'une bobine d'induction annulaire, donnant à peine des étincelles quand l'anneau était fermé, en provoquait de très-longues quand, étant coupés, les deux bouts disjoints étaient éloignés l'un de l'autre de 3 ou 4 millimètres. C'est également pour cette raison que certaines machines de Clarke, destinées aux effets physiologiques, au lieu d'avoir leurs bobines réunies par une traverse de fer, n'ont que des bobines isolées et maintenues seulement par des traverses de cuivre;

7° Que, dans les systèmes magnéto-électriques où les pièces qui excitent l'énergie magnétique des noyaux aimantés restent appliquées sur ces noyaux, le courant induit excité primitivement est beaucoup plus énergique que ceux qui le suivent, par suite de la condensation magnétique qui s'effectue au contact de ces pièces avec le noyau et qui retient sans être utilisée une partie du magnétisme développé.

Recherches sur les courants induits dus au déplacement de l'action induisante, effectué parallèlement à l'axe des bobines d'induction. — Ce travail, destiné à rendre compte des effets produits dans la machine de Gramme, a été présenté d'abord à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 20 mai 1872, et à l'Académie de Caen, dans sa séance de juillet 1872. J'y démontre d'abord, pour bien préciser les différentes causes qui sont en jeu dans ce genre de phénomènes, que les courants d'aimantation et de désaimantation déterminés dans une bobine d'induction droite munie d'un noyau de fer doux, par l'action d'un pôle magnétique, ne peuvent être obtenus que lorsque ce pôle magnétique agit dans les parties voisines des deux extrémités de la bobine, et naturellement ils sont inverses les uns des autres à ces deux extrémités; ainsi les courants d'aimantation provoqués à l'extrémité droite seront inverses des courants d'aimantation provoqués à l'extrémité gauche, et il en sera de même des courants de désaimantation. Au milieu de la bobine, l'action induisante est forcément sans effet, puisque, sous son influence, il se détermine dans le noyau magnétique un point conséquent, et que, ce noyau se trouvant alors dans le cas d'un système magnétique composé de deux aimants opposés l'un à l'autre par leurs pôles semblables, l'hélice magnétique est *dextrorsum* à gauche et *sinistrorsum* à droite; par conséquent l'effet produit d'un côté est détruit par l'effet produit de l'autre côté. Si l'on fait réagir un aimant sur un électro-aimant annulaire, il résulte

du principe que je viens d'émettre qu'on ne pourra jamais obtenir de courants d'aimantation ni de désaimantation, en quelque point qu'on dirige l'aimant; car la polarité développée en face du pôle sera toujours intermédiaire entre deux polarités de même nom que l'on peut considérer comme égales et symétriques, et par conséquent dans les conditions des deux parties extrêmes d'un aimant à point conséquent dont on aurait réuni les extrémités polaires. Or on peut déjà déduire de ces considérations que, si un courant se développe dans une bobine annulaire, il ne peut appartenir à la classe des courants d'induction ordinaires.

Après avoir analysé ainsi la nature des courants induits dus au rapprochement ou à l'éloignement d'un aimant des différentes parties de la bobine d'induction, j'étudie les effets qui doivent résulter d'un déplacement du pôle de l'aimant inducteur, effectué parallèlement à l'axe de la bobine. Dans ces conditions le point influencé du noyau magnétique change continuellement de place, et, par suite, il y a interversion successive des polarités développées aux différents points influencés du barreau, interversion qui, en provoquant une perturbation dans les conditions d'équilibre magnétique de celui-ci, doit donner lieu à une réaction analogue à celle que l'on observe quand on fait succéder à un effet de désaimantation un effet d'aimantation opéré dans des conditions opposées. Comme dans ces conditions les courants résultants sont dirigés dans un même sens, et que, par suite du mouvement de proche en proche de l'inducteur, ils se succèdent sans interruption, on obtient en définitive un courant continu qui ne change de direction que quand on change le sens du mouvement du pôle inducteur.

Quand l'électro-aimant devant lequel on déplace l'aimant inducteur est droit, les effets que nous venons d'analyser sont masqués par ceux qui résultent de l'aimantation et de la désaimantation générales du système et qui sont prédominants; car il est bien certain que, quel que soit le sens dans lequel on approche ou on éloigne l'aimant des extrémités du système électromagnétique, on l'aimante ou on le désaimante; et il n'y a que dans la partie médiane de ce système qu'on retrouve les courants dus aux interversions successives des polarités, et que j'ai désignés pour cette raison sous le nom de *courants d'interversion polaire*; mais dans les électro-aimants annulaires entièrement recouverts par leur hélice magnétisante, ces courants existent seuls, et, quoique ayant une action moins énergique que les courants induits ordinaires, ils réagissent néanmoins d'une manière assez efficace. Dans la machine magnéto-électrique de Gramme, où l'hélice annulaire est divisée en un grand nombre de tronçons séparés les uns des autres et reliés à

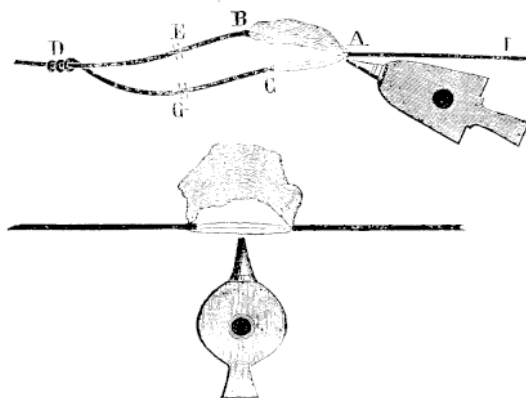
un collecteur de courants par des dérivations, ces courants se retrouvent encore; mais ils sont adjoints à d'autres courants plus énergiques qui résultent du mouvement des spires de ces différentes hélices devant un système magnétique uniformément polarisé, lesquels courants, grâce aux dérivations aboutissant au collecteur, se trouvent réunis en quantité, d'une demi-circonférence de l'anneau à l'autre, à la manière des courants produits par deux piles accouplées par leurs pôles semblables. Ce sont ces derniers courants qui ont été étudiés plus particulièrement par M. Gaugain.

Recherches sur la liaison qui peut exister entre les différentes sources d'induction. — Dans ce travail, dont les conclusions ont été publiées dans mon *Exposé des applications de l'électricité*, t. I, p. 117, 3^e édition, je fais voir que l'induction électrodynamique ou magnétodynamique ne doit être considérée que comme *l'expression du mouvement qui s'accomplit dans l'état électrique ou magnétique d'un corps, pour se mettre en état d'équilibre électrique ou magnétique avec le corps qui a action sur lui, et l'induction électrostatique ou magnétostatique n'est que l'action qui succède à cet état d'équilibre établi.* Or, comme chaque changement dans les rapports réciproques de deux corps dont l'état électrique ou magnétique se trouve ainsi équilibré entraîne de nouvelles conditions d'équilibre qui donnent toutes naissance à un mouvement électrique ou magnétique, soit par le fait du déplacement des fluides, soit par le fait du changement dans l'orientation des polarités atomiques, il en résulte que toute variation dans l'intensité d'une action inductrice électrique ou magnétique, tout rapprochement et tout éloignement de l'inducteur et de l'induit, tout changement dans l'orientation de l'axe des polarités atomiques, doivent donner naissance à un courant d'induction qui sera dans un sens différent suivant que ces changements s'effectueront de manière à constituer l'action induisante en plus ou en moins. D'un autre côté, comme les lois de l'équilibre entraînent toujours l'intervention de deux actions contraires, on peut établir comme principe général que *toute action donnant lieu à un changement dans l'état d'équilibre électrique ou magnétique de deux corps en présence, dont l'un agit comme inducteur, doit provoquer dans celui qui en subit l'influence, et même dans les deux à la fois, en raison des actions réflexes échangées de part et d'autre, une action dynamique de sens contraire qui sera un courant au moment du changement et un effet de condensation après ce changement; mais cet effet de condensation ne sera que l'expression des nouvelles conditions d'équilibre qui se seront alors établies.*

D'après ces considérations, les courants d'induction créés par l'aimantation ou la désaimantation d'un noyau de fer, au sein d'une bobine, seraient le résultat d'une action analogue à celle qui se produit quand on rapproche ou on éloigne l'un de l'autre deux conducteurs parallèles, dont l'un est parcouru par un courant voltaïque. Les courants induits dus au rapprochement ou à l'éloignement de l'armature d'un aimant permanent seraient le résultat du changement qui se produit alors dans l'orientation des polarités atomiques des molécules magnétiques. Enfin les courants induits, auxquels j'ai donné le nom de courants d'interversion polaire, seraient le résultat d'un renversement successif de ces polarités, et ne seraient continus que parce que ce renversement serait lui-même continu. La direction de ces courants pourrait d'ailleurs être prévue en partant de ce fait, qui résulte du principe que j'ai posé, que toute cause qui provoque un trouble dans l'état d'équilibre magnétique d'un corps donne lieu dans le corps influencé à une action contraire; conséquemment, le trouble occasionné dans l'état magnétique d'un aimant surexcité par son armature doit fournir, à travers une hélice qui sera enroulée sur lui, un courant inverse au courant magnétique de l'aimant, et comme ce trouble se produira dans toutes les parties de l'aimant, la résultante de toutes ces actions sera toujours au milieu de l'aimant. Par la raison inverse, quand le système magnétique reprendra ses premières conditions d'équilibre, il se manifestera un courant dans le même sens que le courant magnétique. Dans les électro-aimants annulaires, où il ne peut y avoir ni courants d'aimantation ni courants de désaimantation, les courants résultant du déplacement de l'inducteur doivent être dans le sens des courants qui auraient correspondu à la désaimantation du noyau si celui-ci avait été droit, parce qu'une intervention momentanée des polarités correspond par le fait à une désaimantation.

Recherches sur l'étincelle d'induction. — 1^{er} Mémoire présenté à l'Institut, dans sa séance du 5 février 1855. — Dans ce Mémoire, je démontre que l'étincelle d'induction fournie par l'appareil de Ruhmkorff n'est pas homogène comme celle qui résulte des machines à plateau de verre et celle qui constitue l'arc voltaïque; qu'elle se compose d'un jet de feu d'une blancheur éblouissante et d'une espèce d'atmosphère ou auréole lumineuse d'une couleur terne qui peut être déplacée par un courant d'air, et donner lieu à une nappe de feu, de couleur violette, sillonnée par des filets lumineux en zigzags, analogues aux éclairs, laquelle peut même se détacher complètement du jet de feu au milieu de la décharge.

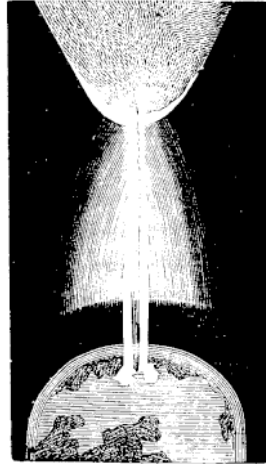
Je démontre que cette auréole n'est autre chose qu'un matelas d'air devenu lumineux à la manière des conducteurs imparfaits, sous l'influence du passage d'une notable partie du courant induit qui se dérive par cette voie, tandis que le trait de feu représente la décharge directe due aux fluides accumulés en excès à l'extrémité des rhéophores.



Je signale, dans ce Mémoire, la différence d'action calorifique de ces deux effluves lumineuses, circonstance qui m'a conduit à admettre que l'une représente un flux d'électricité de quantité, tandis que l'autre représente un flux d'électricité de haute tension. M. Perrot a complété d'une manière ingénieuse ces expériences. (*Voir mes Recherches sur la non-homogénéité de l'étincelle d'induction*, p. 39-47.)

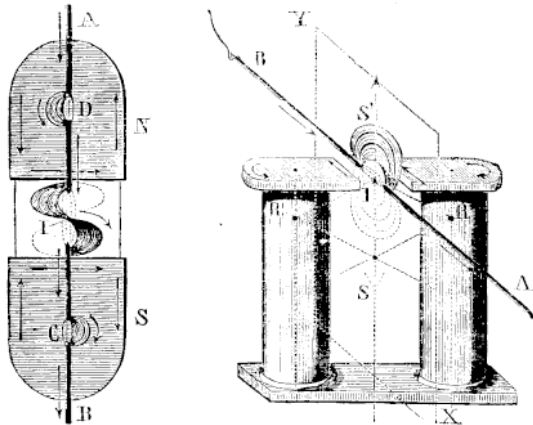
2^e Mémoire présenté à l'Institut, dans sa séance du 6 juillet 1859. — Ce Mémoire est relatif à l'aspect dans le microscope de l'étincelle d'induction emprisonnée entre deux lames de verre. Je fais voir que l'auréole jaune verdâtre qui entoure l'étincelle proprement dite constitue une large nappe de feu, d'un rouge rosé, qui émane du pôle positif, et qui, après s'être étendue en éventail dans la solution de continuité, s'arrête brusquement avant d'atteindre le rhéophore négatif, en délimitant autour de ce rhéophore une bande obscure plus ou moins large, exactement semblable à celle que l'on remarque dans la lumière d'induction produite au sein du vide. Je fais voir encore que l'extrémité du rhéophore négatif est recouverte d'une belle lumière bleue, au milieu de laquelle on distingue une foule de petites scintillations brillantes, de couleurs variables suivant les métaux, et d'où naissent les traits de feu de la décharge directe, qui paraissent d'un jaune verdâtre et qui s'échangent directement d'un rhéophore à l'autre. Enfin je démontre

que l'étincelle d'induction à l'air libre et entre deux lames de verre n'est, en définitive, que la représentation en miniature de l'effluve lumineuse qu'elle produit dans le vide, sauf les traits de feu, et que les stratifications



qui se font remarquer dans cette dernière lumière peuvent, en certaines circonstances, se retrouver dans l'auréole de l'étincelle d'induction à l'air libre, par exemple, quand on la provoque au milieu de la flamme d'une bougie. (*Voir mes Recherches sur la non-homogénéité, etc.*, p. 74-95.)

3^e *Mémoire* présenté à l'Institut, dans sa séance du 23 août 1859. — Je démontre, dans ce *Mémoire*, que l'auréole de l'étincelle d'induction étant un flux



continu conduit par un conducteur flexible (l'air chaud) peut être influencée par les aimants à la manière des courants voltaïques mobiles, alors que le

trait de feu de la décharge directe n'est nullement impressionné. Je fais voir, en effet, que cette auréole se développe sous la forme d'une belle nappe de feu circulaire, sillonnée par des stratifications parallèles quand la décharge est provoquée entre les pôles d'un électro-aimant suivant sa ligne équatoriale, tandis qu'elle constitue une véritable spire d'hélice quand la décharge est produite suivant la ligne axiale. Je montre que ces deux formes, et plusieurs autres encore que je signale, s'expliquent admirablement avec la théorie d'Ampère, et qu'elles sont surtout remarquables quand l'étincelle est échangée entre deux charbons de braise; car les nappes de feu se trouvent alors sillonnées par trois systèmes de stratifications. Je termine ce Mémoire en montrant que l'insufflation de l'auréole, soit par les courants d'air, soit par les aimants, a pour effet d'affaiblir notablement le courant induit, et cela d'autant plus qu'elle est plus énergique. (*Voir mes Recherches sur la non-homogénéité*, p. 47-57.)

4^e Mémoire présenté à l'Institut, dans sa séance du 17 octobre 1859. — Ce Mémoire se rapporte aux causes de la formation de l'auréole de l'étincelle d'induction. Par des raisons que je développe longuement, je démontre que c'est à l'action du jet de feu, qui provoque, avant d'éclater, des répulsions électriques moléculaires sur le milieu gazeux interposé et qui détermine une conduction dite mécanique au moment où il éclate, qu'il faut rapporter la cause première de la dérivation du courant constituant l'auréole; mais que c'est à l'action calorifique déterminée par l'étincelle entière et aux particules conductrices entraînées par elle qu'il faut attribuer son développement et la bonne conductibilité relative de la masse gazeuse qui lui sert de véhicule. Je pars de là pour hasarder une théorie du bruit de l'étincelle. (*Voir mes Recherches sur la non-homogénéité de l'étincelle d'induction*, p. 17-30.)

5^e Mémoire présenté à l'Institut, dans sa séance du 21 novembre 1859. — Ce Mémoire est consacré à l'étude des propriétés particulières des deux flux de l'étincelle d'induction et de leur mode de propagation à travers les liquides. Les principales conclusions sont :

1^o Que l'éclat et la blancheur du jet brillant de l'étincelle d'induction tiennent au transport des particules métalliques arrachées aux rhéophores par ce flux électrique, et que, pour que ce jet brillant puisse avoir tout son éclat, la présence de deux rhéophores métalliques est indispensable;

2^o Que quand l'étincelle est échangée entre une surface conductrice

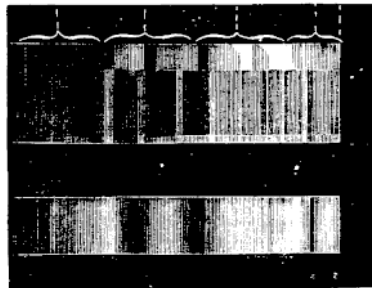
et un rhéophore pointu, elle peut donner lieu à un jet très-stable et à un jet très-instable, suivant que la surface formant rhéophore est négative ou positive ;

3° Que, sous certaines conditions, un liquide peut conduire différemment les deux flux de l'étincelle d'induction, en faisant passer l'un (le flux de tension) par sa surface, l'autre (le flux de quantité ou l'auréole), à travers sa masse ;

4° Que les effets lumineux qui accompagnent ces différents modes de transmission de l'étincelle varient suivant que les surfaces métalliques ou liquides sont positives et négatives. (*Voir mes Recherches sur la non-homogénéité*, p. 57-74.)

6° *Mémoire* présenté à l'Académie de Caen, dans sa séance du 29 décembre 1859. — J'étudie d'une manière toute spéciale, dans ce *Mémoire*, le spectre de l'étincelle d'induction. Je fais voir que ce spectre n'est pas homogène et qu'il se compose de quatre spectres superposés : l'un correspondant à la lumière négative, un autre correspondant au jet de feu, un troisième correspondant à la lumière de l'auréole, et un quatrième correspondant à la lumière accumulée au pôle positif.

Je montre que le spectre du trait de feu est sillonné de raies brillantes qui varient en intensité, en nombre et en position suivant les métaux, tandis que le spectre de l'auréole est beaucoup plus uniforme et ne varie que suivant la nature du milieu aériforme à travers lequel éclate la décharge ; il paraît n'être que le diminutif du spectre de l'étincelle échangée dans les gaz raréfiés.



Quant aux deux autres spectres, qui bordent en quelque sorte les deux précédents (lesquels sont superposés l'un sur l'autre), je démontre qu'ils participent de la nature de l'étincelle aux deux rhéophores. Au pôle positif, la décharge s'accumule pour entraîner avec elle la matière du rhéophore, et

il en résulte que le spectre de cette lumière est le même que celui du jet de feu, mais beaucoup plus brillant. Au pôle négatif, l'étincelle détermine une lumière bleue qui s'étale sur le rhéophore négatif et qui n'est qu'un épanouissement de la lumière de l'auréole; aussi son spectre ne présente-t-il plus de raies brillantes; mais, en revanche, les couleurs sont séparées les unes des autres d'une manière tranchée, et présentent un côté brillamment illuminé, un autre côté dans l'ombre, comme des tambours de colonnes éclairés de côté. (*Voir mes Recherches sur la non-homogénéité de l'étincelle d'induction*, p. 95-107.)

7^e *Mémoire* présenté à l'Académie de Rochefort, dans sa séance de janvier 1860. — Dans ce travail, j'ai recherché les caractères particuliers des courants directs et des courants inverses produits par l'appareil Ruhmkorff, et j'ai reconnu que l'on pouvait faire prédominer tel ou tel de ces courants suivant la nature du circuit parcouru par eux. Je suis même parvenu à séparer complètement ces deux courants et à les confiner dans deux circuits particuliers, de manière qu'ils pussent réagir indépendamment l'un de l'autre. Il suffit, pour cela, d'interposer dans l'un des circuits une très-forte résistance métallique, et de pratiquer dans l'autre une solution de continuité que l'on rend légèrement conductrice par l'interposition de la flamme d'une bougie. Le premier circuit opposant au courant direct une résistance d'une nature moins propre à l'électricité de tension que la solution de continuité du second circuit, ce courant passe en presque totalité par cette dernière voie, tandis que le courant inverse, qui ne peut, en raison de sa faible tension, traverser le circuit interrompu, passe en presque totalité par le circuit métallique. (*Voir mes Recherches sur la non-homogénéité de l'étincelle d'induction*, p. 30-35.)

8^e *Mémoire* présenté à la Société des Sciences naturelles de Cherbourg, dans sa séance du 5 septembre 1859. — Je me suis occupé, principalement dans ce Mémoire, de la différence des décharges suivant les dimensions relatives des rhéophores par rapport au sens du courant induit. Je démontre d'abord que, dans les courants induits de la machine Ruhmkorff, le fluide accumulé au pôle positif a plus de tension que celui accumulé au pôle négatif; d'où il résulte que les effets des décharges électriques sont principalement commandés par la nature du rhéophore positif. Je fais ensuite voir qu'à l'air libre le courant a plus de force quand il marche d'une petite surface métallique à une grande que dans le cas contraire, mais que dans le vide cet effet

est renversé précisément parce qu'il est commandé par le pôle positif. Il en résulte qu'une effluve lumineuse, qui passe dans un tube en cascade de Gaisseler, peut présenter l'aspect d'un serpent de feu non interrompu ou coupé par tronçons, suivant que le courant passe des tubes les plus étroits aux tubes les plus larges, ou des tubes les plus larges aux étroits. Je fais voir que cet effet peut rendre compte de la solution de continuité qui existe entre la lumière positive et la lumière négative.

Je démontre ensuite que la différence de coloration des lumières positive et négative vient de ce que l'effluve positive traverse seule la plus grande partie de la solution de continuité du circuit, et qu'en conséquence elle se colore différemment suivant la nature du milieu qu'elle traverse; que sans cela les deux lumières seraient toutes les deux d'un bleu pâle, comme l'expérience l'indique, quand on ne considère que l'effluve produite par le pôle extérieur de l'appareil avec un courant assez faible pour ne pouvoir traverser le vide. (*Voir mes Recherches sur la non-homogénéité de l'étincelle d'induction*, p. 88-95.)

Quant à l'action différente exercée suivant le sens du courant par les rhéophores, lorsque leur surface est très-différente et que la décharge s'effectue à l'air libre, elle est la conséquence d'un effet de polarisation analogue à celui qu'on remarque dans les couples voltaïques dont les électrodes sont placées dans les mêmes conditions. Dans ce cas, la polarisation est produite non-seulement par la séparation des éléments, de l'air et leur combinaison subséquente, qui donne d'abord de l'ozone, puis ensuite de l'acide hypoazotique, mais encore par le transport matériel des particules métalliques arrachées à l'électrode positive, lesquelles étant électrisées positivement diminuent successivement la tension négative à l'autre électrode au moment où elles s'y déposent. Ces effets sont assez énergiques pour diminuer successivement la longueur des étincelles échangées entre deux boules métalliques et même les faire cesser complètement. On peut, suivant M. Hempel, avoir la preuve que ce phénomène est bien un effet de polarisation, car il suffit d'essuyer les deux boules et d'expulser l'air qui les entoure pour obtenir de nouveau les effets primitifs.

9^e *Mémoire* présenté à l'Institut, dans sa séance du 9 avril 1855. — Je relate, dans ce travail, un certain nombre d'expériences malheureusement difficiles à répéter, parce qu'elles exigent une excellente machine pneumatique, et qui montrent : 1^o que la lumière stratifiée peut être produite dans un vide ordinaire, si les boules du récipient entre lesquelles s'échange l'étin-

celle sont vernies; 2° qu'en perfectionnant toujours le vide, on peut rendre les effets lumineux symétriques aux deux pôles de l'appareil, et finir par éteindre complètement la lumière; ce qui a lieu spontanément après que le phénomène a acquis son plus grand développement, c'est-à-dire quand les deux lumières rouges ou blanches se sont rejointes et se sont confondues ensemble.

J'explique ce phénomène en disant que, par suite de la perfection du vide, le courant inverse qui se trouve ordinairement arrêté finit par passer à travers la solution de continuité; et dès lors, les deux courants, passant alternativement en sens contraire l'un de l'autre, donnent lieu à des effets lumineux symétriques qui doivent se développer successivement, jusqu'à ce que, le vide n'étant plus conducteur par suite de sa trop grande perfection, ils cessent spontanément.

Depuis ces expériences, plusieurs physiciens, entre autres M. Gassiot, sont arrivés aux mêmes résultats en perfectionnant le vide au moyen d'une action chimique. (*Voir ma Notice sur l'appareil de Ruhmkorff*, pages 175 à 179).

10° *Mémoire* présenté à l'Institut, dans ses séances du 6 février 1854 et du 11 février 1855. — Ce *Mémoire* est consacré aux phénomènes qui accompagnent la transmission des courants induits, dans le cas où des lames isolantes sont interposées dans le circuit induit. Je fais voir que non-seulement le courant ne se trouve pas interrompu par cette interposition, mais qu'il donne lieu à des effluves lumineuses très-remarquables. Ainsi, si l'on maintient à 3 ou 4 millimètres l'une de l'autre deux lames de verre, revêtues extérieurement de deux lames métalliques mises en rapport avec les deux pôles de l'appareil de Ruhmkorff, on aperçoit dans l'obscurité une pluie de feu, d'une belle couleur bleue, qui s'échange entre les deux surfaces de verre sans que l'étincelle passe par les bords des lames isolantes. De plus, on distingue, autour de la plus petite des deux plaques métalliques servant de rhéophores, une frange lumineuse, également de couleur bleue, qui est beaucoup plus développée quand la plus petite des deux plaques est positive. Un effet analogue est produit quand, au lieu d'une plaque métallique servant de rhéophore positif, on emploie une couche humide de vapeur condensée : celle-ci forme alors une flaque de lumière illuminée dans toute son étendue.

Je démontre que ces effets tiennent à une électrisation par influence des surfaces de verre opposées aux rhéophores, électrisation qui produit, du

reste, les mêmes effets que l'électrisation directe ; car de la limaille métallique, interposée entre les deux lames de verre dont il a été question, donne lieu au phénomène connu sous le nom de *danse des pantins*, et une lame métallique substituée à cette limaille se charge parfaitement. (Voir ma *Notice sur l'appareil de Ruhmkorff*, pages 148 à 157).

Depuis les études si nombreuses faites en Angleterre sur les câbles sous-marins, cet effet n'a plus rien qui puisse surprendre ; car il représente à l'œil le phénomène désigné maintenant par les Anglais sous le nom d'*électrification*, et l'effluve lumineuse entre les lames de verre n'est qu'une décharge disruptive échangée entre deux surfaces électrisées à la manière des liquides, c'est-à-dire par voie électrotonique. Toutefois cette décharge a été utilement appliquée par MM. Grove, A. Thenard et A. Boillot à la production d'effets fort curieux, au développement instantané des images de Moser par M. Grove et à la combinaison de certains gaz par M. A. Thenard et A. Boillot ; ce qui est curieux, c'est que cette effluve semble agir chimiquement en sens contraire de l'étincelle. Ainsi, alors que celle-ci décompose, celle-là recompose, comme l'a démontré M. Thenard.

11^e *Mémoire* présenté à l'Institut, dans sa séance du 26 décembre 1853. — J'étudie, dans ce *Mémoire*, le mode de transmission des courants induits à travers les corps de conductibilité secondaire et suivant la nature des rhéophores.

Je démontre, dans ce *Mémoire* : 1^o que l'interposition dans le circuit induit de limailles métalliques, de dorures appliquées à sec sur des corps isolants, de gouttelettes liquides très-divisées, de poussières charbonnées, de gaz enflammés, de certains sulfures métalliques, etc., etc., augmente considérablement la longueur de l'étincelle d'induction, qui prend alors le plus souvent la forme en zigzags ; 2^o que cet allongement de l'étincelle vient de ce que le conducteur interposé n'est pas assez bon conducteur pour conduire la décharge à l'état latent, mais suffisant pour l'aider à vaincre la résistance de l'air sur une certaine étendue ; 3^o que les zigzags formés par l'étincelle sont d'autant plus multipliés et contournés que le conducteur secondaire est moins homogène, et qu'ils se changent en lignes droites quand on provoque l'étincelle sur la tranche dorée d'un livre ; 4^o que, quand les conducteurs secondaires formés de substances conductrices très-divisées sont susceptibles de s'étaler ou de se fondre, il se manifeste entre les particules qui les composent certaines attractions, certaines agglomérations provenant de leur soudure ou de leur expansion sur le trajet de

l'étincelle, qui tendent à former de ce conducteur incomplet un conducteur le plus continu possible, circonstance qui n'empêche pas pour cela la déflagration lumineuse; 5° que, quand les conducteurs secondaires sont composés de particules conductrices légères et infusibles, comme la poussière de charbon, l'étincelle a pour effet de les disséminer à la manière d'un soufflet, effet qui a même lieu sans que l'étincelle éclate, avec le pôle extérieur de l'appareil d'induction; 6° que la superposition d'un conducteur secondaire formé de particules métalliques sur un corps plus conducteur, comme l'eau, n'empêche pas les déflagrations lumineuses décrites précédemment de se produire; 7° que l'étincelle d'induction peut produire un point lumineux très-brillant lorsque le rhéophore négatif est constitué par une matière végétale carbonisée; 8° que l'étincelle d'induction s'étale comme une flaque d'eau irrégulièrement contournée sur le rhéophore négatif, quand celui-ci est formé par une plaque métallique légèrement oxydée ou salie; 9° que l'étincelle échangée entre un fil et la surface d'un liquide conducteur donne lieu à des ramifications plus ou moins grandes, qui se développent sur le liquide et dont l'aspect et la couleur varient suivant que le liquide est positif ou négatif; 10° que la décharge du courant d'induction peut être considérablement facilitée par la présence, dans le voisinage de la solution de continuité, d'un corps conducteur. (*Voir ma Notice sur l'appareil de Ruhmkorff*, pages 139 à 148 et pages 104 à 116.)

Recherches sur l'électricité atmosphérique. — Mémoires sur la foudre, présentés à l'Institut, dans ses séances du 26 décembre 1853, du 6 février 1854 et du 27 février 1854, et à la Société météorologique en 1857.

1^{er} *Mémoire*. — Dans ce Mémoire, je démontre que les zigzags de la foudre sont dus à des différences de conductibilité dans le milieu gazeux interposé dans la décharge électrique. Ces différences tiennent à la présence, dans ce milieu, de vapeurs plus ou moins condensées, de gouttelettes de pluies, de couches d'air inégalement saturées de vapeur ou à des températures et pressions différentes. Je montre, en effet, au moyen des étincelles fournies par la machine de Ruhmkorff, qu'en faisant intervenir au milieu d'une décharge l'un ou l'autre de ces différents éléments, on obtient non-seulement tous les effets des éclairs en zigzags, mais encore un allongement considérable de la décharge; ce qui explique la longueur énorme des éclairs, qui varie de 1,900 à 3,000 mètres.

L'une des expériences les plus convaincantes à cet égard consiste à hu-

mecteur légèrement avec le doigt une planche vernie, et à étendre suffisamment la couche liquide pour qu'elle soit très-mince et très-divisée. Si l'on applique en deux points différents de cette couche les deux rhéophores de l'appareil, on voit immédiatement la décharge se convertir en plusieurs jets de feu plus ou moins contournés, plus ou moins continus, plus ou moins brisés, qui varient même de couleur et qui rappellent, à s'y méprendre, les zigzags de la foudre. Ces jets de feu, qui pourront même n'apparaître que par tronçons, pourront s'échanger à une distance sept ou huit fois plus grande que la décharge à travers l'air sec, et le bruit de la décharge semblera s'être accru.

Cette expérience peut être répétée dans de plus grandes proportions avec des limailles métalliques, du charbon en poudre, certains sulfures métalliques, mais surtout le papier doré. Sur la tranche dorée d'un livre, les traits de feu acquièrent une longueur considérable et sont presque droits à cause de l'uniformité de conductibilité du conducteur. J'explique, par cette expérience, pourquoi les éclairs paraissent plus droits au moment où ils s'échangent avec la terre que quand ils apparaissent au milieu des nuages, région du ciel où l'atmosphère possède forcément des conductibilités très-différentes.

2^e *Mémoire*. — Ce travail se rapporte à une théorie des éclairs en boule, fondée sur la réaction qui doit se produire quand l'influence électrique des nuages orageux sur la terre s'opère à travers un milieu présentant des différences de conductibilité très-tranchées.

Quand ce milieu est uniformément humide, la recombinaison des électricités soutirées peut se faire, dans certaines circonstances, sans bruit, à l'état latent; mais si ce milieu humide se trouve interrompu ou coupé transversalement par une bande moins conductrice, un courant d'air sec et froid, par exemple, ou un courant d'air raréfié en opposition avec l'action la plus efficace du nuage orageux sur le fluide terrestre, cette électricité en mouvement dans le conducteur humide se trouve en partie arrêtée; elle s'y accumule, et, trouvant à travers cette petite bande isolante ou moins conductrice une résistance moindre que celle que lui présenterait une longue dérivation par le conducteur humide, elle franchit cet obstacle sans bruit, puisqu'il n'y a pas décharge, et se présente sous la forme d'une boule de feu, parce que l'étincelle électrique, immobile surtout quand elle traverse un conducteur secondaire aériforme, a la forme d'une sphère lumineuse. La marche lente du globe de feu ne serait alors que le résultat des variations dans la direction

de cette bande isolante, ou du courant d'air qui l'aurait motivé, variations qui déplaceraient le point où l'écoulement du fluide électrique se manifesterait à l'état lumineux.

En partant de cette hypothèse, l'explosion du globe de feu et les éclairs qu'il lancerait latéralement ne seraient autre chose que la décharge électrique, provoquée par les corps conducteurs interposés dans cette bande isolante et à portée desquels se trouverait le météore.

Du reste, l'expérience démontre qu'une forte charge électrique accumulée à l'extrémité d'un conducteur quelconque peut, dans certaines circonstances, lorsque le conducteur se trouve en rapport avec un conducteur secondaire aériforme, se détacher du conducteur sous la forme d'un globe de feu et parcourir lentement ce conducteur aériforme, comme M. Noad et, avant lui, l'abbé Bertholon l'ont démontré.

3^e *Mémoire*. — Dans ce *Mémoire*, je cherche à démontrer que, si le phénomène encore problématique des tonnerres sans éclairs est vrai, il pourrait être rattaché à la théorie de M. de Tessan, sur le bruit du tonnerre, en supposant les nuages orageux qui produisent les tonnerres sans éclairs fortement électrisés (par influence) par d'autres nuages très-étendus, dont la charge électrique, venant à disparaître par suite d'une décharge éloignée ou d'un simple écoulement, laisserait abandonnés à eux-mêmes les fluides développés par influence.

Il résulterait, en effet, de cette hypothèse : 1^o que les nuages ainsi influencés se dilateraient successivement par suite des répulsions échangées entre les particules de vapeur électrisées, de la même manière absolument que si ces nuages étaient chargés d'électricité libre; 2^o que les fluides séparés par influence dans ces nuages, se trouvant spontanément libres par suite de l'annihilation de la cause qui les maintenait développés, donneraient lieu à une recomposition ou décharge qui s'effectuerait sans déflagration lumineuse, puisqu'elle s'opérerait à l'intérieur d'un corps conducteur; 3^o que la cause qui aurait provoqué la dilatation du nuage ayant cessé d'exister par suite de cette recomposition des fluides, la rentrée de l'air au sein du nuage provoquerait le bruit du tonnerre; mais ce bruit ne se trouverait pas accompagné d'une déflagration lumineuse. Cette explication pourrait, du reste, être résumée en un mot, en disant que le phénomène du tonnerre sans éclairs serait aux nuages orageux ce qu'est, par rapport à la terre, celui bien connu des physiciens sous le nom de choc au retour. La seule différence serait que, les molécules solides de la terre ne pouvant se prêter comme celles

des nuages aux répulsions électriques, le tonnerre se manifesterait dans un cas et n'aurait pas lieu dans l'autre. (*Voir ma brochure sur la Théorie des éclairs et ma Notice sur le tonnerre et les éclairs.*)

INVENTIONS.

A une époque où je m'occupais plus spécialement d'applications mécaniques de l'électricité que je ne le fais aujourd'hui, j'ai imaginé un certain nombre d'appareils, dont les plus importants figuraient à l'Exposition universelle de 1855, et m'ont valu une médaille de première classe à cette Exposition, ainsi que plusieurs autres médailles de la part de différentes Académies, dont une d'or m'a été décernée en 1861 par l'Académie de Rouen. Voici la liste de ces appareils :

1° Un anémographe électrique à calculateurs, qui fut installé à l'Observatoire de Paris sur la demande de M. Arago et qui a été employé dans différents endroits. Cet anémographe, imaginé en 1852, est le premier anémographe électrique qui ait été construit. (*Voir mon Exposé des applications de l'électricité*, 2^e édition, t. II, p. 374.)

2° Un traducteur électrique des courbes météorologiques et autres, destiné à la traduction chiffrée des courbes fournies par les enregistreurs ordinaires. Cet appareil a été imaginé en 1858. (*Voir mon Exposé*, t. IV, p. 434.)

3° Un régulateur automatique de la température pour maintenir automatiquement à un degré voulu la chaleur d'un milieu limité quelconque. Cet appareil, quelquefois employé dans les serres chaudes, les magnaneries, les minoteries, a été imaginé en 1854 et a figuré à l'Exposition de 1855. (*Voir mon Exposé*, t. III, p. 63, et t. IV, p. 532.)

4° Un enregistreur électrique des improvisations musicales, imaginé en 1855. (*Voir mon Exposé*, t. III, p. 117). C'est le premier qui ait été construit.

5° Un mesureur électrique à distance pouvant servir comme maréographe et applicable surtout à l'enregistrement des niveaux de l'eau dans les réservoirs pour l'alimentation des villes. C'est le premier qui a été construit; la date de son invention est 1855. (*Voir mon Exposé*, t. II, p. 408 et 481; t. IV, p. 448.)

6° Un régulateur électrosolaire pour ramener au midi vrai les horloges ordinaires, imaginé en 1853. C'est le seul qui existe. (*Voir mon Exposé*, t. II, p. 255, et t. IV, p. 391.)

7° Un moniteur électrique pour la sécurité des chemins de fer, au moyen duquel les trains mis en mouvement peuvent : 1° être mis en relation télégraphique avec les stations; 2° enregistrer, à ces différentes stations, les divers points de la voie successivement parcourus par eux; 3° recevoir à temps des avertissements automatiques en cas d'un trop grand rapprochement. Ce système, imaginé en 1854, a précédé de deux ans celui de M. Bonelli. (*Voir mon Exposé*, t. II, p. 185.)

8° Un système de moniteur électrique pour préserver les navires des ensablements. (*Voir mon Exposé*, t. III, p. 80.)

9° Un système de télégraphe imprimeur, fondé sur l'emploi des courants renversés, pour faire agir à volonté le système imprimeur et le système télégraphique. C'est le premier de ce genre qui ait été fait et qui ait permis d'imprimer sous l'influence d'effets électriques distincts dépendant de la volonté de l'expéditeur sans nécessiter deux fils à la ligne. (*Voir mon Exposé*, t. II, p. 130.)

10° Un télégraphe dans lequel les effets du magnétisme condensé des électro-aimants sont supprimés, et qui marche sans réglage sur un circuit variant de zéro à 500 kilomètres de résistance. (*Voir mon Exposé*, t. V, p. 199.)

11° Un système de télégraphe sous-marin à galvanomètre à miroir, dont les réflexions lumineuses sont enregistrées photographiquement, imaginé en 1872. (*Voir les Procès-verbaux des séances de l'Académie de Caen*; séance du mois de janvier 1873.)

12° Un galvanomètre enregistreur dont les déviations de l'aiguille sont enregistrées photographiquement. (*Voir mon Exposé*, 3^e édition, t. II, p. 379.)

13° Un appareil pour prévenir à distance que l'intensité d'un courant dont on fait usage est devenue trop faible, imaginé en 1855. (*Voir mon Exposé*, t. III, p. 76.)

14° Un calendrier électrique perpétuel (1855). (*Voir mon Exposé*, t. II, p. 474.)

15° Un sphéromètre électrique (1855). (*Voir mon Exposé*, t. II, p. 466.)

16° Un loch électrique pour indiquer constamment les distances parcourues en mer par les navires. C'est le premier qui ait été imaginé, et il a été copié depuis, comme on a pu le voir à l'Exposition de 1867; il a été combiné en 1855. (*Voir mon Exposé*, t. III, p. 537.)

17° Un *memento* ou aide-mémoire électrique (1855). (Voir mon *Exposé*, t. IV, p. 537.)

18° Un système de tubes lumineux pour éclairer sans produire d'échauffement les cavités obscures du corps humain (1859). (Voir ma *Notice sur l'appareil de Ruhmkorff*, 5^e édition, p. 399.)

19° Plusieurs systèmes d'inflammation de mines par l'électricité, dont un a été employé pour les travaux de creusement du port de Cherbourg (1856). (Voir mon *Exposé*, t. III, p. 295.)

20° Plusieurs systèmes d'électromoteurs. (Voir mon *Exposé*, t. III, p. 141 et suiv.)

21° Un inductomètre pour mesurer les charges électriques considérables. (Voir mon *Exposé*, t. I, p. 422.)

22° Un nouveau tourniquet magnétique fondé sur le principe des réactions dynamiques des courants et des aimants. (Voir ma brochure sur *le Magnétisme statique et le Magnétisme dynamique*, p. 28; et *Recherches sur l'électricité*, p. 37.)

23° Un nouveau système de monture des piles de Bunsen, au moyen duquel une batterie peut être chargée et déchargée instantanément. (Voir mon *Exposé*, t. I, p. 77.)

24° Un système de serrure à gâche électromagnétique. C'est le premier système de ce genre qui ait été conçu, et il s'est trouvé depuis perfectionné par MM. Fortin, Biloret, etc. La date de son invention est 1856. (Voir mon *Exposé*, t. III, p. 101.)