

COLLECTION
DE
MÉMOIRES

RELATIFS A LA
PHYSIQUE,

PUBLIÉS PAR
LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

TOME II.

—
MÉMOIRES SUR L'ÉLECTRODYNAMIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

PARIS,

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

—
1885

XXVIII.

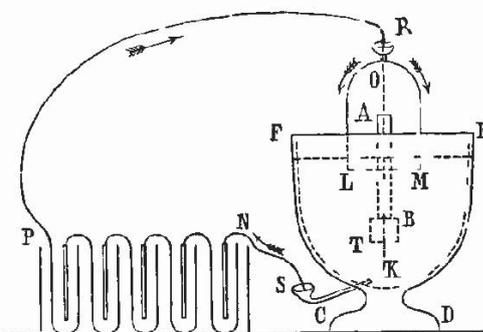
EXTRAIT D'UNE LETTRE DE M. AMPÈRE A M. FARADAY (1).

Paris, 18 avril 1823.

MONSIEUR,

Le temps m'ayant manqué pour répondre à la dernière lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire avec autant de détail que j'aurais voulu le faire, je me bornerai, dans celle-ci, à tirer, des lois que j'ai données pour déterminer toutes les circonstances des phénomènes produits par l'action électrodynamique, trois conséquences qui ont été vérifiées par des expériences dont il était, en partant de ces lois, facile de prévoir les résultats. Ces résultats, quoiqu'ils soient réellement de nouvelles preuves de ma

Fig. 1.



théorie, pourraient, au premier coup d'œil, lui paraître opposés; c'est pourquoi j'ai cru devoir commencer par les en déduire.

La première de ces conséquences est relative à un cas de rotation d'un aimant flottant, que vous avez obtenu et que m'a communiqué M. Hachette.

Si j'ai bien conçu cette intéressante expérience, un fil conducteur LOM (*fig. 1*), plié en fer à cheval et mobile autour de la verticale KO, communique, par son milieu O, avec une des

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, p. 389. — *Recueil d'observations électriques*, p. 365. (J.)

extrémités de la pile que je supposerai l'extrémité positive pour fixer les idées; il plonge en L, M dans le mercure que contient le vase CDEF; dans la même verticale KO se trouve l'axe d'un aimant flottant AB, chargé en B d'un poids de platine BT destiné à maintenir cet aimant dans une situation verticale.

Les choses ainsi disposées, voyons d'abord ce qui doit arriver, d'après ma théorie. Un des faits généraux les plus importants sur lesquels elle repose, et qui m'a suggéré l'expérience et les calculs d'après lesquels j'ai déterminé, dans le Mémoire que j'ai lu à l'Académie des Sciences, le 10 juin 1822, ce qui restait d'indéterminé dans la formule par laquelle j'ai représenté l'action qu'exercent l'une sur l'autre deux portions infiniment petites de courants électriques, fait que j'avais déjà annoncé dans la Note que je lus dans la séance publique du 8 avril de la même année, consiste en ce que l'action mutuelle de deux circuits fermés ne peut imprimer à l'un de ces circuits un mouvement de rotation continue, toujours dans le même sens, et qu'ainsi celle de deux assemblages de circuits fermés, de quelque manière qu'ils soient disposés, ne peut jamais produire cette sorte de mouvement. Il ne peut en résulter, dans l'un d'eux, qu'une tendance à prendre une position fixe lorsqu'on le suppose mobile; d'où il suit que, si un tel assemblage ne peut que tourner autour d'un axe et que les circuits dont il se compose soient situés symétriquement des deux côtés de cet axe, il n'éprouvera absolument aucune action de la part d'un circuit fermé ou d'un assemblage de circuits fermés. C'est ce qui doit arriver à un aimant assujéti à ne pouvoir que tourner autour de son axe, lorsqu'on le considère comme devant ses propriétés à des courants électriques, et c'est ainsi que j'explique, dans ma théorie, pourquoi on ne peut, d'aucune manière, lui imprimer un mouvement autour de son axe par l'action d'autres aimants.

Il semble même, au premier coup d'œil, à cause de la disposition symétrique de tous les courants d'un aimant relativement à son axe, qu'il est également impossible de le faire tourner autour de cet axe par l'action d'un conducteur voltaïque, puisque les courants de la pile agissent, d'après mes premières expériences, comme ceux des fils conducteurs, et que la pile, réunie à tout le reste du courant électrique qu'elle produit, compose toujours un

circuit complètement fermé. C'est, en effet, ce qui a lieu tant qu'aucune partie de ce dernier circuit ne traverse l'aimant ou n'est liée invariablement avec lui; nous verrons tout à l'heure pourquoi le mouvement de rotation continue, autour de l'axe même de l'aimant, devient possible dans cette dernière circonstance; il faut auparavant examiner toutes les actions qui s'exercent dans l'appareil que j'ai représenté (*fig. 1*), lorsque l'aimant AB n'est lié à aucune partie du circuit voltaïque composé du conducteur mobile LOM, du mercure contenu dans le vase CDEF, des deux rhéophores RP, SN ⁽¹⁾ et de la pile PN.

Puisque le courant voltaïque va en s'approchant de ceux de l'aimant dans les branches OL, OM, elles tendront à tourner autour de lui dans le sens opposé à la direction de ces derniers, et il en résulte une réaction sur l'aimant tendant à le faire tourner avec une force égale en sens contraire, c'est-à-dire dans le sens de ses propres courants; les courants qui des points L, M passent dans le mercure vont, au contraire, en s'éloignant de ceux de l'aimant : leur action tend donc à faire tourner le mercure autour de lui, dans le sens de ses courants, conformément à l'expérience de Sir H. Davy relative à la rotation du mercure, et il en résulte une réaction sur l'aimant qui tend à le faire tourner en sens contraire; enfin, le reste du courant électrique, qui est contenu dans les rhéophores et la pile, agit pour faire tourner l'aimant avec une force égale à la différence des deux actions du fer à cheval LOM et du mercure, puisque l'action totale de tout le circuit voltaïque doit être nulle; le tout conformément à une loi générale de la manière d'agir des conducteurs, que vous pouvez voir énoncée dans les premières lignes de la page 161 de mon *Recueil d'observations électrodynamiques* ⁽²⁾.

Il suit de là que, quand rien ne s'oppose à la rotation du fer à cheval LOM, il tourne en sens contraire des courants de l'aimant

⁽¹⁾ Je nomme ainsi les deux fils de cuivre soudés aux deux extrémités de la pile, et qui servent à *porter le courant électrique* dans les appareils destinés à observer l'action mutuelle des diverses portions de ce courant, et celle qui s'exerce entre elles et le globe terrestre ou un aimant. (A.)

⁽²⁾ Cette loi est aussi énoncée dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, p. 373. (A.)

Voir p. 186, la fin de la note [3]. (J.)

AB, que si l'action est assez forte pour vaincre l'inertie du mercure et les frottements, le mercure tourne aussi, mais dans le sens de ces courants, tandis qu'il ne peut y avoir aucune action pour faire tourner l'aimant tant qu'on ne le lie à aucune partie du circuit voltaïque.

Mais, si l'on vient, comme dans votre dernière expérience, à lier l'aimant à la partie mobile LOM, ou qu'on y fasse passer une portion du courant, comme dans l'expérience où j'ai obtenu, dans le temps, la rotation continue d'un aimant autour de son axe, alors, toute action mutuelle entre les éléments d'un système de forme invariable ne pouvant lui imprimer aucun mouvement (¹), ce sera

(¹) Ce principe était admis par tous les physiciens depuis que Newton en avait fait un des trois axiomes sur lesquels il a élevé l'admirable édifice de sa théorie de l'univers, et qu'il a placé à la tête des *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, en l'énonçant en ces termes : *L'action est toujours égale et opposée à la réaction; c'est à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et dans des directions contraires.*

On ne peut douter que Newton n'entende, en s'exprimant ainsi, que l'action et la réaction sont deux forces égales dirigées en sens contraire, suivant une même droite, en sorte que, quand ces deux corps sont liés invariablement, ces deux forces se font équilibre, et qu'il ne peut en résulter aucune sorte de mouvement. Je ne pensais pas d'abord que ce dût être là un objet de controverse, et mes recherches sur les lois de l'action électrodynamique n'ont point eu d'autre base; je me suis constamment attaché, dans ces recherches, à suivre la marche rigoureuse dont il a donné le premier et le plus parfait modèle, d'une part, en imitant, dans la détermination de l'expression analytique de la force électrodynamique élémentaire, que j'ai faite d'après des cas d'équilibre observés avec précision, le procédé par lequel on déduit, des lois de Kepler, celle de la gravitation universelle en raison inverse du carré de la distance; de l'autre, en analysant les phénomènes où l'action et la réaction semblaient agir en sens contraire, non pas suivant une même droite, mais suivant deux droites parallèles, de manière à les ramener à des forces dont l'action fût toujours directement opposée à la réaction. D'autres physiciens ont préféré admettre, pour rendre raison des phénomènes électrodynamiques, des forces qui ne satisfissent pas à cette condition commune à toutes les autres forces de la nature, et qui fussent telles qu'en s'exerçant entre deux corps liés invariablement ensemble elles imprimassent un mouvement de rotation au système solide résultant de la réunion de ces deux corps.

Si l'on pouvait citer un seul fait qu'on ne pût expliquer autrement, il faudrait bien avoir recours à cette singulière supposition; mais il n'en est pas ainsi, et il suffit, pour s'en convaincre, de suivre les explications que j'ai données de tous ceux qui ont été observés jusqu'à présent, sans renoncer à un des principes fondamentaux de la Physique newtonienne, et surtout de consulter les calculs contenus dans le Mémoire de M. Savary, cité plus haut, qui ont si complètement justifié ces explications. Ajoutons que les fluides électriques en mouvement dans le circuit voltaïque y sont toujours en même quantité, qu'il n'y entre et qu'il n'en

comme si l'on avait supprimé du circuit total la portion de ce circuit qui fait corps avec l'aimant; et, comme c'était l'action de cette portion qui faisait équilibre à l'action égale et opposée du reste du circuit, celle-ci aura tout son effet et l'aimant tournera en vertu de cette dernière action. Quant au mercure contenu dans le vase CDEF, sa tendance à tourner sera la même dans les deux cas, et elle aura ou n'aura pas son effet, suivant que cette force sera ou ne sera pas suffisante pour vaincre les résistances qui s'opposent à la rotation du mercure. Il est aisé de voir que tout, dans cette expérience, se passe comme dans celle de M. Savary, qui est décrite dans mon *Recueil*, p. 243, 244, et dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XX, p. 66 et 67 (1) : le mercure y est seulement remplacé par de l'eau acidulée, et l'aimant par une spirale électrodynamique qui doit, d'après ma théorie, agir précisément comme lui. Il est à remarquer que l'action du reste du circuit, qui produit alors la rotation de l'aimant, étant égale et opposée à celle que LOM exerçait sur lui avant qu'on les liât, et celle-ci étant aussi égale et opposée à l'action qu'exerçait en même temps l'aimant pour faire tourner LOM, la force qui tend à faire tourner, dans le premier cas, l'aimant et le fer à cheval réunis est de même intensité et de même signe que celle qui tend à faire tourner, dans le second, le fer à cheval seulement; mais le mouvement de rotation doit parvenir plus lentement à l'état uniforme lorsque l'aimant et le fer à cheval sont liés ensemble, parce que la masse à mouvoir est augmentée de toute celle de l'aimant, et sa vitesse doit même rester toujours un peu moindre à cause du frottement entre le mercure et la surface de l'aimant. Il est aisé de voir que cette sorte de mouvement n'aurait pas lieu dans le cas où la portion mobile du circuit voltaïque qu'on lie avec l'aimant, ou la portion du courant de ce circuit qui passe par l'aimant dans l'appareil à l'aide duquel j'ai obtenu le mouvement de rotation continue, avait ses deux extrémités dans l'axe, puisqu'il n'y a point

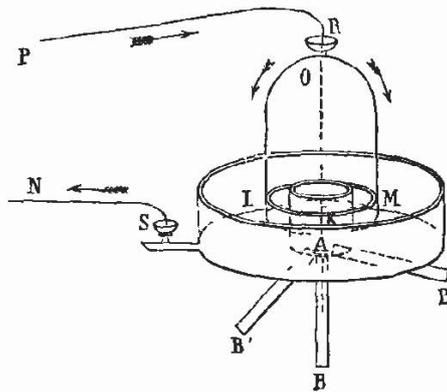
sort ni électricité positive ni électricité négative, en sorte que ce serait bien en vain qu'on croirait pouvoir prévenir cette difficulté en disant que le système solide qu'on suppose ainsi tendre à tourner sur lui-même ne le fait qu'en vertu d'actions et de réactions exercées en ligne droite, conformément au principe de Newton, entre les molécules électriques et la matière pondérable du système. (A)

(1) Voir art. XIV, p. 197 et suiv.

d'action entre un aimant et un courant électrique terminé, de part et d'autre, à l'axe de cet aimant. On voit aisément, à l'aide du calcul, que la force qui produit ce mouvement est à son *maximum* quand la distance des points L et M diffère peu du diamètre de l'aimant.

La seconde conséquence de ma théorie, sur laquelle j'ai désiré, Monsieur, d'appeler votre attention, consiste en ce qu'un aimant AB (*fig. 2*), qui a l'un de ses pôles dans l'axe de rotation KO du fer à cheval LOM, tend à le faire tourner dans le même sens, soit qu'il soit placé horizontalement comme en AB, vertica-

Fig. 2.



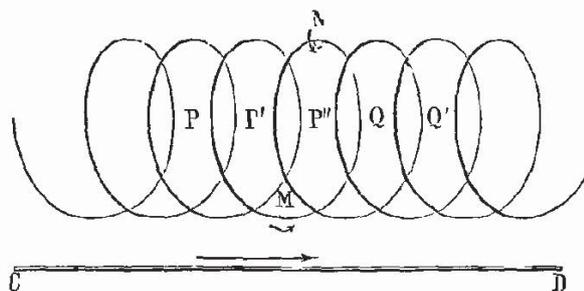
lement comme en AB', ou dans une situation inclinée comme en AB''. Non seulement il est bien aisé de voir que cela est une suite nécessaire de ma manière d'expliquer les propriétés des aimants, mais M. Savary a, en outre, dans un *Mémoire sur l'Application du calcul aux phénomènes électrodynamiques*, qui sera bientôt publié, déduit directement ce résultat de la formule par laquelle j'ai représenté l'action mutuelle de deux éléments de conducteurs voltaïques. On ne doit donc pas le regarder, avec un savant physicien anglais, comme une objection contre mon opinion, mais, au contraire, comme une nouvelle preuve en sa faveur.

Les calculs de M. Savary, ainsi que vous l'avez pu voir dans mon *Recueil*, p. 349 et 350, conduisent aussi à ce résultat remarquable, que quand l'aimant est assez long pour qu'on puisse en regarder la longueur comme infinie, relativement à la partie mobile LOM du conducteur, son action, pour la faire tourner autour de la verticale KO, dans laquelle se trouve le pôle de l'aimant

qui en est le plus près, doit toujours rester la même, quelle que soit la direction de l'aimant.

La troisième conséquence est relative à la manière dont un fil de fer ou plutôt d'acier AB (*fig. 3*), roulé en hélice, doit s'aimanter, par l'action d'un courant CD qui parcourt un conducteur rectiligne indéfini CD parallèle à l'axe de l'hélice, d'après ma manière d'expliquer les phénomènes que présentent les aimants. Si l'on considère sur chacune des spires du fil d'acier les deux points P, Q, où la surface cylindrique qu'elles forment est touchée par deux plans passant par CD et tangents à cette surface, la moitié PMQ d'une spire, qui est comprise entre ces deux points du côté du

Fig. 3.



conducteur, s'aimantera comme on le voit dans la figure, de manière que son pôle austral sera en P et son pôle boréal en Q, tandis que la moitié QNP' de la même spire, qui est comprise entre les points Q et P du côté opposé au conducteur CD, s'aimantera de manière que son pôle boréal sera en Q et son pôle austral en P'; en sorte que, le long des deux côtés du cylindre où sa surface est touchée par les deux plans tangents dont j'ai parlé tout à l'heure, il y aura en P, P', P'', ... une suite de points consécutifs ayant les propriétés du pôle austral d'un aimant, et en Q, Q', Q'', ... une suite de points consécutifs ayant les propriétés d'un pôle boréal; tandis que, si le conducteur passait dans l'intérieur de l'hélice de fil d'acier, tous les points de ce fil devraient être aimantés dans le même sens, sans points consécutifs, et avec un pôle austral en A et un pôle boréal en B.

Dans ce dernier cas, il n'y a de pôles qu'aux extrémités de l'hélice en fil d'acier, et, pour se faire une idée nette des propriétés qu'elle doit présenter, il faut concevoir que les petits courants

électriques d'une pareille hélice sont, d'après ma théorie, dans des plans qui forment avec son axe des angles d'autant plus petits que le pas des spires de l'hélice a moins de hauteur, et que, si l'on projette les circonférences qu'ils décrivent sur des plans perpendiculaires à l'axe de l'hélice, chaque courant circulaire donnera sur un de ces plans un courant elliptique. L'ensemble de ces projections devra agir sensiblement, comme si ces ellipses étaient des cercles d'un plus petit diamètre que les circonférences décrites par les courants du fil, c'est-à-dire comme un aimant; les projections sur deux plans rectangulaires perpendiculaires entre eux et passant par l'axe seront aussi des ellipses dont les arcs infiniment petits pourront être projetés parallèlement et perpendiculairement à l'axe suivant de petites droites où la direction des courants sera, dans un sens, pour chaque demi-ellipse, et, en sens contraire, pour chacune des autres demi-ellipses, dont la réunion avec une des premières forme une ellipse entière, en sorte que leurs effets devront se neutraliser presque complètement; l'action totale sera donc sensiblement celle d'un aimant, ainsi que l'a trouvé M. de La Borne, en faisant des expériences avec une hélice en fil de fer non recuit, et propre, par conséquent, à conserver les propriétés magnétiques qu'il avait acquises par l'action d'un fil conducteur placé dans l'axe de l'hélice, et par lequel M. de La Borne avait fait passer le courant électrique instantané d'une bouteille de Leyde (1).

(1) « J'ai formé, dit ce jeune physicien, avec un fil de fer non recuit, une hélice autour d'un tube de verre; j'ai fait passer le fil qui devait communiquer avec les deux armures d'une bouteille de Leyde, par l'axe de cette hélice. Alors chaque élément de l'hélice se trouvait à la même distance du fil de décharge et à peu près perpendiculairement à ce dernier. Il résultait de là qu'en faisant passer une décharge par le fil situé dans l'axe, toutes les parties de l'hélice devaient se trouver aimantées à la fois, de sorte que, développant l'hélice, on devait trouver le pôle austral à une des extrémités et le pôle boréal à l'autre. Considérant que le fil ployé en hélice a une direction générale dans le sens de l'axe, on pouvait penser que cette hélice serait magnétique et dans le même sens que le fil développé. Ces résultats ont eu lieu, en effet... Une telle hélice présente le cas singulier d'un aimant flexible, élastique, qu'on peut ployer, allonger, accourcir, et qui, suivant la théorie généralement admise, doit cesser d'agir comme aimant sur une aiguille de boussole, si, en joignant les deux extrémités, on en forme un anneau: c'est, en effet, ce qui arrive, du moins sensiblement. Une hélice ainsi ployée s'arme d'elle-même: c'est un moyen de lui faire conserver son magnétisme. » (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XVI, p. 194 et 195.)

Je n'ai point répété ses expériences sur ce sujet; mais on ne peut guère douter, d'après ce qu'il dit des résultats qu'elles lui ont donnés, que l'action des hélices en fil de fer ou d'acier aimantées de cette manière ne soit en tous points telle qu'elle doit être d'après ma théorie, comme dans le cas où l'on aimante les mêmes hélices avec un conducteur toujours parallèle à leur axe, mais placé en dehors de ces hélices. Il me semble qu'il suffirait d'examiner, avec l'attention convenable, la manière dont cette théorie rend raison des phénomènes qu'on observe lorsqu'on fait agir les uns sur les autres les conducteurs voltaïques rectilignes ou circulaires, les hélices formées avec ces conducteurs, les aimants et les hélices de fils d'acier aimantés par un conducteur voltaïque placé : 1^o au dedans de ces hélices, 2^o au dehors des mêmes hélices, pour qu'il ne restât plus de doute sur ce qu'elle exprime le véritable état des choses.

Vous me disiez avec grande raison, Monsieur, dans votre dernière lettre, que d'autres physiciens avaient proposé des théories différentes de la mienne, qu'ils avaient annoncées comme devant rendre raison non seulement des phénomènes déjà découverts, mais de ceux qu'on devait découvrir par la suite, et que cette prédiction, de leur part, ayant été complètement démentie, principalement par le fait du mouvement de rotation continue qui est en contradiction avec ces théories, vous hésitez à adopter la mienne. dans l'appréhension qu'il ne lui arrivât à son tour la même chose; en approuvant entièrement cette sage réserve de votre part, je vous prierai cependant de me permettre une observation qui me paraît de quelque importance. Il y a près de trois ans que j'ai conçu ma théorie : j'en ai publié tous les principes dans les conclusions du Mémoire que j'ai lu à l'Académie royale des Sciences, le 25 septembre 1820. Depuis, de nouveaux phénomènes, que je ne pouvais prévoir, ont été découverts par divers physiciens : bien loin de se trouver en opposition avec ma théorie, ils en ont tous offert de nouvelles preuves, ou plutôt des conséquences nécessaires qu'elle aurait pu prévoir d'avance. N'est-ce pas le cas de dire, avec le philosophe de Rome : *Opinionum commenta delet dies, naturæ judicia confirmat* (1).

(1) CICÉRON, *De Natura deorum*, LIV. II, Ch. II.

M. Seebeck vient de produire le courant électrique par l'influence de la différence de température des points de contact entre deux sortes de métaux dont on forme un circuit fermé. M. OErsted, qui est actuellement à Paris, vient de communiquer à notre Académie (1) des expériences où il a agrandi considérablement le domaine de ces expériences, en multipliant le nombre des contacts entre l'antimoine et le bismuth, et les alternatives de chaud et de froid dans ces contacts. Il a trouvé : 1° que dans cette pile, qu'il a nommée *thermo-électrique*, la tension est extrêmement faible; en sorte que le courant ne s'établit que parce que la conductibilité d'un circuit tout métallique est très grande; 2° qu'à cause de cette faiblesse de la tension électrique produite par ce moyen on n'observe pas d'élévation sensible de température, même dans les fils conducteurs les plus fins; 3° que l'intensité du courant dans des circuits de même étendue croît, à la vérité, avec le nombre des contacts des deux métaux, tenus alternativement à deux températures différentes, mais qu'elle diminue pour un même nombre de ces courants à mesure que le circuit devient plus long, précisément en raison inverse de sa longueur. Ces faits, relatifs à un nouveau moyen de développer l'électricité, semblaient devoir rester indépendants de ma théorie; et, cependant, combien n'y sont-ils pas favorables, 1° en montrant, dans des circuits entièrement métalliques, comme je suppose ceux des particules des aimants, l'existence de courants électriques produits par une force électromotrice très faible, parce que la résistance opposée par un circuit tout métallique est aussi très faible; 2° en nous apprenant que les alternatives de chaud et de froid des contacts sont une cause du développement de l'électricité dynamique qui ne peut manquer d'avoir lieu entre les différents matériaux de notre globe à mesure que le Soleil fait varier la température des diverses régions qu'il parcourt successivement, et cela principalement dans

(1) Dans la séance du 3 mars 1823, OErsted donnait connaissance à l'Académie de la découverte faite par Seebeck de la production d'un courant dans un circuit formé de deux métaux, par l'échauffement d'une des soudures. Le 31 mars OErsted communiquait le résultat d'expériences faites avec Fourier, et qui montraient qu'on pouvait multiplier l'effet observé par Seebeck en multipliant le nombre des soudures alternativement chaudes et froides et construire une véritable pile thermo-électrique.

celles sur lesquelles il agit avec le plus de force; 3° en nous indiquant, dans ces mêmes variations journalières de la température, la cause des variations diurnes de la déclinaison et de l'inclinaison d'une aiguille aimantée; 4° en détruisant l'objection qu'on m'avait faite sur ce que la température des aimants où j'admets des courants électriques n'est pas plus élevée que celle des autres corps; 5° en montrant que la force électromotrice des courants électriques des aimants peut être très faible et ces courants avoir une très grande intensité, puisque cette intensité croît, pour une même action électromotrice, à mesure que la longueur du circuit diminue, en raison inverse de cette longueur, et que la longueur des circuits que j'admets autour de chaque particule d'un aimant ne peut être qu'extrêmement petite.

Voilà, Monsieur, les observations que je vous soumets à la hâte, partagé que je suis entre une foule d'occupations obligées qui ne me laissent pas le temps de m'occuper, comme je le voudrais, de cette nouvelle branche de Physique à laquelle je désirerais donner tout mon temps; elle vous doit la découverte d'un des plus singuliers phénomènes dont elle se compose, celle du mouvement de rotation continu; elle en attend bien d'autres de votre part, qui finiront, sans doute, par faire adopter généralement une théorie qui réunit en sa faveur les démonstrations de l'expérience et celles du calcul : théorie que je ne peux m'attribuer que parce que j'en ai eu le premier l'idée; car elle est une conséquence si naturelle des faits, qu'elle n'aurait, sans doute, pas tardé à être imaginée par d'autres si je ne m'étais pas occupé de ce sujet.

J'ai l'honneur d'être, etc.

