



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TOME L.

DE L'IMPRIMERIE DE V^c. THUAU,
rue du Cloître Saint-Benoît, n^o 4.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

PAR MM. GAY-LUSSAC ET ARAGO.

TOME CINQUANTIÈME.

A PARIS,

Chez CROCHARD, Libraire, rue et place de l'Ecole-de-Médecine, n° 13.

1832.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

RECHERCHES *expérimentales* sur l'*Electricité*;

PAR M. MICHEL FARADAY.

Lues le 24 novembre 1831 à la Société royale de Londres. (Traduit des
Transactions philosophiques par M.)

§ I^{er}. Sur l'*induction* des courans électriques.

§ II. Sur le développement de l'électricité par le
magnétisme.

§ III. Sur une nouvelle condition électrique de la
matière.

§ IV. Sur les phénomènes magnétiques de M. Arago.

(1) On a déjà exprimé par le mot général d'*induction* cette propriété qu'a l'électricité de tension de produire autour de soi un état électrique contraire. Ce mot ayant été adopté dans le langage de la science, peut servir à exprimer dans le même sens général le pouvoir qu'ont les courans électriques d'exciter sur la matière

qui est immédiatement près d'eux , un état particulier quelconque. Or c'est dans cette signification que je pense m'en servir dans cet écrit.

(2) Quelques effets de l'*induction* des courans électriques ont déjà été vérifiés et décrits , tels que ceux de la magnétisation ; les expériences de M. Ampère d'approcher un disque de cuivre d'une spirale plane ; la répétition qu'il a faite des expériences extraordinaires de M. Arago par les aimans électriques , et peut-être quelques autres. Mais on a toujours trouvé peu vraisemblable que ceux-ci dussent être tous les effets que l'*induction* des courans peut produire, d'autant plus qu'à l'exception du fer, ils doivent presque tous échapper à l'observation, tandis qu'une infinité de corps qui présentent des phénomènes déterminés d'*induction* par le moyen de l'électricité de tension, n'ont pas encore donné d'effet quand on les a soumis à l'*induction* de l'électricité en mouvement.

(3) En outre , soit qu'on adoptât la belle théorie de M. Ampère ou une autre , ou qu'on fit une restriction mentale quelconque , il paraissait encore bien extraordinaire que , comme tout courant électrique était accompagné d'une intensité proportionnée d'action magnétique à angle droit du courant, de bons conducteurs d'électricité , placés dans la sphère de cette action , ne dussent pas induire quelque courant parmi eux , ou produire quelque effet sensible équivalent en force à un tel courant.

(4) Ces considérations , et par conséquent l'espoir d'obtenir de l'électricité par le magnétisme ordinaire , m'ont porté à différentes époques à expérimenter l'effet

inductif des courans électriques. Je suis parvenu dernièrement à des résultats positifs, et j'ai trouvé, pour m'exprimer ainsi, une clef qui m'a paru mettre entièrement à découvert les phénomènes magnétiques de M. Arago, et dévoiler un nouvel état qui peut probablement avoir une grande influence sur quelques-uns des plus importants effets des courans électriques.

(5) Je me propose de décrire ces résultats, non tels que je les ai obtenus, mais de manière à pouvoir les présenter dans leur ensemble sous le point de vue le plus concis.

§ I^{er}. *Induction des courans électriques.*

(6) On entortilla à spirale, sur un cylindre de bois, environ vingt-six pieds de fil de cuivre, d'un vingtième de pouce en diamètre, et on interposa un fil retordu bien subtil entre les différentes révolutions de cette spirale pour empêcher tout contact entrè elles. La spirale fut ensuite couverte de mousseline, et un second fil de métal fut appliqué de la même manière. Douze spirales furent ainsi superposées l'une à l'autre, chacune étant formée d'un fil de la longueur de vingt-sept pieds, et toutes dans une même direction. On réunit à leurs extrémités, bout à bout, la première, la troisième, la cinquième, la septième, la neuvième et la onzième de ces spirales; les autres furent jointes de la même manière : d'où résultèrent deux spirales principales étroitement interposées l'une à l'autre, ayant une même direction, ne se touchant nulle part, et contenant chacune cent cinquante-cinq pieds de fil métallique.

(7) L'une de ces spirales fut attachée au galvanomètre, et l'autre à une pile voltaïque bien chargée, de dix couples à double cuivre, dont chaque élément avait quatre pouces carrés; l'aiguille du galvanomètre ne présenta pas la moindre déviation.

(8) On forma également une spirale semblable de six longueurs de fil de cuivre et six de fil de fer doux. La spirale de fer qui en résulta contenait deux cent quarante pieds de fil métallique, celle de cuivre en contenait deux cent huit; mais soit que le courant eût passé de la pile à la spirale de cuivre ou à celle de fer, il ne fut encore possible d'apercevoir aucun effet au galvanomètre.

(9) Dans ces expériences et dans plusieurs autres semblables, on ne put découvrir entre le fer et autres métaux aucune différence d'action de quelque sorte que ce fût.

(10) Deux cent trois pieds de fil de cuivre d'une seule longueur furent entortillés sur un grand bloc de bois, et deux cent trois autres pieds du même fil furent interposés, comme une spirale, entre les révolutions du premier, en empêchant partout le contact métallique par du fil retordu. Une de ces spirales fut attachée à un galvanomètre, et l'autre le fut à une pile de cent couples à double cuivre, de quatre pouces carrés, et bien chargée. Lorsque le contact fut opéré, il se rendit sensible au galvanomètre par un effet soudain et très-léger, et il y eut le même effet au moment que le contact avec la pile fut interrompu. Mais pendant que le courant voltaïque passait dans l'une des spirales, on ne remarqua aucune apparente galvanométrique indiquant un effet d'induction quelconque sur l'autre spirale, quoique la

pile eût manifesté sa grande activité par la chaleur qu'elle avait excitée dans toute la spirale, et par l'éclat de sa décharge dans le charbon.

(11) La répétition de ces expériences faite avec une pile de cent vingt couples ne donna que les mêmes résultats ; cependant il demeura constaté, tant d'une manière que de l'autre, que la petite déviation que souffrait l'aiguille au moment de l'application de la spirale, était constamment dans une direction, et que la même légère déviation, produite lors de l'interruption du contact, était toujours dans l'autre ; il demeura aussi constaté qu'on avait les mêmes effets en se servant des premières spirales (6, 8).

(12) Les résultats que j'obtins cette fois-ci par les aimans me firent penser que le courant de la pile qui passait dans un fil, induisait réellement un courant semblable dans l'autre fil ; mais que ce courant ne continuait qu'un instant, et participait plus de la nature du courant électrique, produit par le choc de la bouteille ordinaire de Leyde, que du courant produit par la pile voltaïque ; et que, par conséquent, il aurait la force d'aimanter une aiguille d'acier, tandis qu'il ne pouvait que faiblement affecter le galvanomètre.

(13) Mon opinion fut confirmée, car en substituant au galvanomètre une petite spirale creuse faite autour d'un tube de verre, en introduisant dans la spirale une aiguille d'acier, en faisant le contact comme auparavant entre la pile et le fil d'induction (7, 10), et en ôtant l'aiguille avant que le contact de la pile fût interrompu, l'aiguille se trouvait aimantée.

(14) Le contact de la pile aussitôt opéré, on intro-

duisit une aiguille non aimantée dans la petite spirale que nous venons d'indiquer ; au moment que ce contact cessait, l'aiguille se trouva être évidemment aimantée à un même degré que la première, mais les pôles l'étaient d'une manière contraire.

(15) On obtint les mêmes effets par la grande spirale double dont nous avons donné précédemment la description (6, 8).

(16) Lorsqu'on introduisit l'aiguille non aimantée dans la petite spirale déjà indiquée, avant le contact du fil d'induction avec la pile, et qu'on l'y laissa jusqu'à ce que le contact fût interrompu, elle ne présenta qu'un magnétisme faible ou nul : le premier effet avait été immédiatement neutralisé par le second (13, 14). La force du courant d'induction, au moment qu'on opérait le contact, fut toujours trouvée plus grande que celle du courant d'induction au moment que le contact était interrompu ; c'est pourquoi en opérant et interrompant le contact plusieurs fois de suite pendant que l'aiguille restait dans la petite spirale dont nous avons parlé, elle en sortait enfin non aimantée, comme si le courant d'induction qui se développait au moment du contact avait seul exercé sur elle son action. Cet effet peut être attribué à l'accumulation (comme on l'appelle) aux pôles de la pile avant que le contact soit opéré ; de sorte que, au premier instant du contact, le courant est plus puissant qu'il ne l'est après, au moment que le contact cesse.

(17) Lorsque le circuit entre la spirale ou fil d'induction, et le galvanomètre ou la spirale indiquée, n'était pas complété avant que la connexion entre la pile et le

fil d'induction fût opérée ou interrompue, on n'apercevait aucun effet au galvanomètre. Ainsi, si, après avoir opéré les communications de la pile, on unissait le fil d'induction avec la petite spirale indiquée, il n'en résultait aucun effet magnétique. Mais en retenant les communications avec la pile, on trouvait dans la spirale, quand elles cessaient, un effet magnétique de la seconde espèce, c'est-à-dire avec les pôles qui indiquaient un courant dans la même direction que celui de la pile, ou celui qui d'abord en était toujours excité.

(18) Dans les expériences précédentes les fils métalliques étaient placés l'un à côté de l'autre, et le contact du fil d'*induction* avec la pile avait été opéré lorsqu'on avait désiré obtenir l'effet d'induction; mais comme il se pouvait que quelque action particulière se fût développée dans les momens que le contact était opéré et interrompu, on voulut obtenir l'*induction* par une manière différente. Plusieurs pieds de fil de cuivre furent étendus en forme de grands zigzag, représentant la lettre W, sur la surface d'une large planche; un second fil fut étendu précisément comme le premier sur une seconde planche, de sorte qu'en approchant celle-ci de la première, les fils se touchaient partout, si ce n'est qu'une feuille de gros papier les séparait. Un de ces fils fut attaché au galvanomètre, et l'autre à une pile voltaïque. On avança ensuite le premier fil vers le second, et à mesure qu'il approchait, l'aiguille allait en déviant: on l'éloigna, et l'aiguille marcha dans une direction contraire. Quand on approchait ou on reculait les fils simultanément aux oscillations de l'aiguille, celles-ci devenaient fort étendues; mais dès que les fils cessaient de bouger, soit dans un

sens soit dans l'autre, l'aiguille du galvanomètre reprenait immédiatement sa position ordinaire.

(19) Lorsque les fils s'approchaient, le courant induit (*induced*) était dans une direction *contraire* au courant inducteur (*inducing*). Lorsque les fils s'éloignaient, le courant induit était dans la *même* direction que le courant inducteur. Lorsque les fils demeuraient stationnaires il n'y avait aucune *induction* de courant (54).

(20) Un petit appareil voltaïque fut introduit dans le circuit entre le galvanomètre (10) et sa spirale ou fil métallique, de manière à produire une déviation permanente de 30° ou 40°; on attacha la pile de cent couples au fil inducteur (*inducing*); il y eut une action instantanée comme auparavant (11), mais l'aiguille du galvanomètre reprenait ou retenait inaltérablement sa place, malgré le contact continué du fil inducteur avec la pile. Tel était le résultat qu'on obtenait de quelque manière que les contacts fussent opérés (33).

(21) Il résulterait de ce qu'on vient de dire que les courans collatéraux, tant dans la même direction qu'en direction contraire, n'excitent l'un sur l'autre aucun pouvoir inducteur permanent par rapport à leur quantité ou tension.

(22) Je n'ai pu, ni par la langue, ni par l'étincelle, ni par la chaleur d'un fil fin ou du charbon, obtenir aucun indice de l'électricité qui passe à travers le fil sous l'induction; et je n'en ai pas non plus obtenu aucun effet chimique, quoique les contacts avec les solutions métalliques et d'autres fussent opérés et interrompus alternativement avec les contacts de la pile, et de manière que

le second effet d'induction ne pouvait guère contrarier ou neutraliser le premier (13, 16).

(23) Une telle absence d'effet ne provient pas de ce que le courant induit (*induced*) de l'électricité ne peut pas traverser les fluides, mais elle naît probablement du peu de durée du courant ou de sa faible intensité; car en introduisant deux grandes plaques de cuivre dans le circuit à l'endroit induit. (20), et après les avoir plongées dans de l'eau salée, et en évitant tout contact entre elles par de la toile interposée, l'effet qui en résultait au galvanomètre *indicateur*, ou spirale, était le même qu'auparavant.

L'électricité induite put aussi passer à travers la pile (20). Cependant lorsque la quantité du fluide fut réduite à une goutte, le galvanomètre ne marqua aucune indication.

(24) On essaya d'obtenir les mêmes effets par l'usage des fils conducteurs de l'électricité ordinaire, mais on ne parvint qu'à des résultats douteux. On mit en œuvre une double spirale pareille à celle déjà décrite (6), et renfermant huit spirales élémentaires. Quatre de ces spirales avaient leurs bouts respectifs liés ensemble par un fil métallique, et les deux grandes extrémités qui en résultaient, ainsi prolongées et attachées à une petite spirale magnétisante (*magnetising*), contenaient une aiguille non aimantée (13). Les quatre autres spirales furent arrangées de la même manière, mais avec les bouts attachés à une bouteille de Leyde. En opérant la décharge, l'aiguille fut trouvée aimantée; mais il paraît probable qu'une partie de l'électricité de la bouteille passa dans la petite spirale et aimanta l'aiguille. En effet

il n'y avait aucune raison pour que l'électricité de la bouteille, douée comme elle était d'une grande tension, ne dût pas se répandre dans toute la matière métallique interposée.

(25) Aussi il ne s'ensuit pas que la décharge de l'électricité ordinaire par un fil métallique ne puisse pas produire des phénomènes analogues à ceux qu'on obtient de l'électricité voltaïque ; mais comme il semble impossible de séparer les effets produits au moment que la décharge commence, d'avec les effets égaux ou contraires qui ont lieu lorsque la décharge finit (16), par la raison qu'avec l'électricité ordinaire ces momens sont simultanés, ainsi il est à peine permis d'espérer qu'on puisse les observer dans les expériences faites par ce moyen.

(26) Il est donc évident que les courans de l'électricité voltaïque présentent des phénomènes d'*induction* analogues en partie à ceux que produit l'électricité de *tension*, quoiqu'il existe plusieurs différences entre ces phénomènes, comme on le verra ensuite. Ce qui en résulte est la production de courans qui ne sont que passagers, parallèles ou tendant au parallélisme avec le courant *inducteur*. Par rapport aux pôles de l'aiguille formée dans la spirale indiquée ci-dessus (13, 14), et quant aux déviations de l'aiguille du galvanomètre (11), on trouvait dans tous les cas que le courant *induit*, produit par la première action du courant *inducteur*, était en direction contraire au courant successif, mais que le courant produit par la cessation du courant *inducteur* était dans la même direction. Pour éviter toute circonlocution, je propose de donner à cette action du courant de la pile voltaïque la dénomination d'*induction*

volta-électrique. Les propriétés du fil métallique, après que l'induction a développé le premier courant, et pendant que l'électricité de la pile continue à passer par son voisin *inducteur* (10, 18), établissent une condition électrique particulière que nous examinerons ensuite. Tous ces résultats ont été obtenus avec un appareil *voltaïque* composé de deux seuls éléments.

§ II. Développement de l'électricité par le magnétisme.

(27) On fit un anneau avec une barre ronde de fer doux, le métal ayant sept huitièmes de pouce d'épaisseur, l'anneau six pouces de diamètre extérieur. On mit autour d'une partie de cet anneau trois spirales dont chacune contenait vingt-quatre pieds environ de fil de cuivre d'un vingtième de pouce d'épaisseur; elles étaient isolées du fer et l'une de l'autre, et superposées de la manière déjà indiquée (6), occupant sur l'anneau une longueur de neuf pouces environ. Elles pouvaient être employées séparément ou ensemble : on peut en voir le groupe marqué A (fig. 1). On appliqua de la même manière, de l'autre côté de l'anneau, soixante pieds environ du même fil de cuivre, formant une spirale B, qui avait une même direction que les spirales du groupe A, mais qui en était séparée à chaque extrémité par un demi-pouce environ de fer découvert.

(28) On attachâ par des fils de cuivre la spirale B à un galvanomètre à trois pieds de l'anneau. Les fils de A furent joints à leurs bouts, de manière à former une

longue spirale, dont on unit les extrémités à une pile de dix couples de quatre pouces carrés. Le galvanomètre en fut immédiatement affecté, et à un degré fort au-delà de celui qu'on avait remarqué lorsque, avec une pile d'une force décuple, on avait fait usage de spirales sans fer (10); mais quoique le contact continuât, l'effet ne fut pas permanent, car l'aiguille vint reprendre bientôt sa position naturelle, comme si elle ne ressentait nullement l'influence de l'appareil électro-magnétique. En faisant cesser le contact avec la batterie, l'aiguille subit de nouveau une déviation très-forte, mais en direction contraire à celle remarquée au commencement de l'expérience.

(29) On obtint des effets semblables, et même plus forts peut-être, en arrangeant l'appareil de manière que la spirale B fut mise hors de service, et le galvanomètre fut attaché à l'un des trois fils de A et aux deux autres disposés en forme d'une spirale par où était passé le courant de la pile (28).

(30) Lorsque le contact de la pile était opéré dans une direction, l'aiguille du galvanomètre marchait d'un côté; lorsqu'il était opéré dans l'autre direction, l'aiguille marchait de l'autre côté. La déviation qui avait lieu au moment où cessait le contact de la pile était constamment à rebours de l'autre produite par l'accomplissement du contact, et au moment que ce contact s'effectuait, la déviation indiquait toujours un courant *induit* contraire en direction au courant qui partait de la pile; tandis que la cessation du contact produisait une déviation qui indiquait un courant *induit* dans la même direction que celui de la pile. Mais,

soit qu'on opérât ou qu'on interrompît le contact du côté B, ou dans un point quelconque du circuit du galvanomètre, ce dernier n'indiquait aucun effet, et de même il n'y avait aucune déviation dans l'aiguille du galvanomètre pendant la durée du courant de la pile. Il est superflu de s'entretenir plus particulièrement de ces résultats, car ils sont communs à toutes ces expériences et à leurs analogues faites avec le magnétisme ordinaire, que nous aurons à détailler.

(31) En employant le pouvoir de cent paires de couples (10) avec l'anneau déjà décrit, l'impulsion au galvanomètre, lorsque le contact s'accomplissait ou cessait, était tellement forte qu'elle faisait tourner rapidement l'aiguille quatre ou cinq fois sur elle-même avant que l'air et le magnétisme terrestre pussent en réduire le mouvement à l'état de simple oscillation.

(32) Par l'usage du charbon aux extrémités de la spirale B, il fut possible d'apercevoir une petite étincelle lorsque le contact de la pile avec A fut établi. Cette étincelle ne pouvait être attribuée à aucune diversion d'une partie du courant de la pile à travers le fer de la spirale B; car pendant la durée du contact de la pile, le galvanomètre retournait complètement à son état d'indifférence (28). Il n'arriva que rarement de voir l'étincelle lors de la cessation du contact. On essaya en vain, par ce courant, produit par influence, d'exciter l'ignition dans un petit fil de platine; mais il y a peut-être toute raison de croire qu'on y aurait réussi en faisant usage d'un courant primitif plus fort, ou d'un plus puissant arrangement de spirales.

(33) On dirigea un faible courant voltaïque par la

spirale B et le galvanomètre , de manière à produire sur l'aiguille une déviation de 30 ou 40 degrés, et ensuite on fit communiquer A à la pile de cent couples ; mais après que le premier effet fut accompli , l'aiguille du galvanomètre reprit exactement la position convenable au faible courant transmis par son propre fil. Cela arrivait de quelque manière que les contacts fussent opérés, ce qui fait voir que, même ici (20), il n'existe aucune influence permanente des courans l'un sur l'autre par rapport à leur quantité et leur tension.

(34) On fit usage ensuite d'une autre disposition qui rattachait les expériences précédentes sur l'induction volta-électrique à l'expérience suivante. Avec deux cent vingt pieds de fil de cuivre repliés en huit longueurs , on construisit sur un cylindre creux de carton une combinaison de spirales pareilles à celle déjà décrite (6). Quatre de ces spirales jointes bout à bout furent attachées au galvanomètre : on joignit également bout à bout les quatre autres spirales qui restaient, et puis on déchargea par elles la pile de cent couples. L'effet obtenu au galvanomètre par ce procédé fut à peine sensible (11), si ce n'est qu'on parvint à faire des aimans par le courant excité (induced) (13). Mais lorsqu'on eut introduit dans le tube de carton , entouré par les spirales , un cylindre de fer doux de l'épaisseur de sept huitièmes de pouce et long de douze pouces, alors le courant par influence (*induced*) affecta le galvanomètre d'une manière très-forte et avec tous les phénomènes déjà cités (30) : il manifesta ainsi un pouvoir magnétisant évidemment plus énergique que celui qu'il avait sans la présence du cylindre de fer.

(35) En substituant au cylindre de fer un cylindre

semblable de cuivre, on n'obtint pas plus que l'effet des spirales. Cependant l'usage des cylindres de fer ne donna pas un résultat aussi marqué que l'usage de l'anneau dont nous avons parlé ci-dessus (27).

(36) De pareils effets furent ensuite produits par les *aimans ordinaires*. Au moyen de deux fils de cuivre longs de cinq pieds chacun, on attacha au galvanomètre toutes les spirales élémentaires de la spirale creuse dont nous venons de faire la description (34); on introduisit dans son axe le cylindre de fer doux; ensuite on arrangea deux barres aimantées, longues de vingt-quatre pouces chacune, de manière que d'un côté leurs pôles opposés étant mis en contact entre eux, figuraient à peu près un aimant à fer de cheval, et les autres pôles, de l'autre côté, étant mis en contact avec les deux bouts du cylindre de fer, celui-ci se trouvait momentanément changé en un aimant (fig. 2). En interrompant ou en renversant les contacts magnétiques, on put à loisir interrompre ou renverser le magnétisme du cylindre de fer.

(37) Au moment où le contact fut opéré, l'aiguille dévia : pendant la durée du contact elle devint indifférente et reprit sa première position; à la cessation du contact elle dévia de nouveau, mais dans une direction contraire au premier effet, et redevint ensuite indifférente. On renversa les contacts magnétiques, et les déviations de l'aiguille furent renversées.

(38) Lorsque le contact magnétique fut opéré, la déviation de l'aiguille indiqua un courant (*induced*) d'électricité par influence, ayant une direction contraire au courant qu'on aurait employé pour développer dans le fer doux un magnétisme de la même polarité que le ma-

guétisme réellement produit par le contact avec les barres aimantées. Ainsi lorsque les pôles *marqués et non marqués* furent placés comme on les voit dans la 3^e fig., le courant dans la spirale marcha dans la direction indiquée par les petites flèches, en supposant que P soit le bout du fil métallique qui va au pôle positif de la pile, ou le bout auquel sont face les disques de zinc, et que N soit le fil métallique négatif. Un tel courant aurait changé le cylindre en un aimant de nature opposée à l'aimant formé par le contact avec les pôles A et B : la direction de ce courant est en sens inverse de celle des courants qui, dans la belle théorie de M. Ampère, sont considérés comme formant un aimant équivalent au cylindre de fer doux (1).

(39) Mais comme on pouvait supposer que dans toutes les expériences précédentes de cette section, le courant passager par influence (*induced*) était excité par quelque effet particulier qui avait lieu pendant la formation

(1) Il y a plusieurs personnes qui ont de la peine à se rappeler la position relative d'un courant électrique et d'un aimant ; c'est pourquoi M. Ampère et d'autres ont imaginé trois ou quatre moyens pour aider la mémoire. J'ose en proposer un qui me paraît fort simple et utile dans ce cas et dans d'autres semblables. Que l'observateur se figure avoir ses regards fixés sur une aiguille d'inclinaison ou sur le pôle de la terre ; qu'il se figure ensuite la direction du mouvement des aiguilles d'une montre ou d'une vis qui tourne directement : les courants qui suivraient cette direction autour d'une aiguille la rendraient magnétique comme l'aiguille d'inclinaison, ou formeraient eux-mêmes un *électro-aimant* doué de propriétés semblables. De tels courants approchés d'un aimant tendraient à lui faire prendre la direction de l'aiguille d'inclinaison, ou seraient dirigés vers cette po-

de l'aimant, et non par sa seule approximation virtuelle; on fit l'expérience suivante : on lia ensemble par un fil de cuivre tous les bouts analogues de la spirale creuse composée (34); il en résulta ainsi deux extrémités communes qu'on attacha à un galvanomètre. On ôta le cylindre de fer-doux (34), et on le remplaça par un aimant cylindrique de trois quarts de pouce en diamètre, et de huit pouces et demi en longueur. Un bout de cet aimant fut placé dans l'axe de la spirale (fig. 4) et pendant que l'aiguille du galvanomètre demeurait encore stationnaire, on introduisit l'aimant tout-à-coup : il en résulta immédiatement une déviation dans l'aiguille, dans la même direction que si l'aimant eût été produit de l'une ou l'autre des deux manières précédentes (34, 36). En laissant l'aimant où il était, l'aiguille reprenait sa première position; en le retirant, l'aiguille marchait dans une direction contraire. Ces effets n'étaient pas grands; mais en avançant ou en retirant l'aiguille de manière que chaque impulsion fût chaque fois ajoutée aux impulsions communiquées précédemment à l'aiguille, celle-ci pouvait étendre ses oscillations jusques à une amplitude de 180° et même davantage.

(40) Il faut, dans cette expérience, que l'aimant ne passe pas entièrement à travers la spirale, car alors on a une

sition par un aimant ainsi placé; et dans la théorie de M. Ampère, ils sont considérés comme suivant cette direction dans un aimant. En se rappelant ces deux choses, la position de l'aiguille d'inclinaison; la marche des aiguilles de la montre, il est facile de déduire de suite toute autre relation entre le courant et l'aimant.

seconde action. Lorsque l'aimant est introduit, l'aiguille du galvanomètre dévie dans une certaine direction ; mais après qu'il y est, qu'on l'avance entièrement ou qu'on le retire, l'aiguille dévie dans une direction contraire à la précédente. Lorsque l'aimant est introduit par un mouvement uniforme, l'aiguille commence par marcher dans une direction , puis elle s'arrête soudainement , et marche enfin dans une direction contraire.

(41) Si on place dans la direction de l'est à l'ouest (ou dans quelque autre position constante) une spirale creuse, telle que celle dont on a donné la description (34), et qu'on dirige de la même manière un aimant de l'est à l'ouest, alors, quel que soit le bout de la spirale où entre l'aimant, et quel que soit par conséquent le pôle de l'aimant qui entre le premier, l'aiguille marche toujours dans le même sens ; d'un autre côté, quelque direction qu'on suive en retirant l'aimant, la déviation de l'aiguille est constante, mais en sens contraire à celle produite par l'introduction de l'aimant.

(42) Il n'y a dans ces effets que de simples conséquences de la loi que nous aurons à décrire dans la suite (114).

(43) Lorsque les huit spirales élémentaires furent arrangées en une longue spirale, l'effet qui en résulta ne fut pas aussi grand que l'effet obtenu par l'arrangement dont nous venons de parler, et il fut ensuite moindre quand, des huit spirales, on n'en employa qu'une. On prit toutes les précautions pour éviter une action directe quelconque de l'aimant *inducteur* (inducing) sur le galvanomètre, et on trouva qu'en poussant l'aimant dans la même direction et au même degré sur l'extérieur

de la spirale , il n'en résultait aucun effet sur l'aiguille.

(44) La Société royale possède un grand aimant composé, qui, dans le temps, appartenait à M. le docteur Gowin Knight; c'est de cet aimant que, par la permission de M. le président et du conseil, j'ai pu me servir dans les expériences en question. Il se trouve maintenant confié à M. Christie, à sa demeure à Woolwich, où, grâce à sa bonté, j'eus la faculté de travailler; et je dois ici reconnaître les obligations que je lui ai pour l'assistance qu'il m'a prêtée dans toutes les expériences et les observations faites avec lui. Cet aimant est formé d'environ 450 barres aimantées, dont chacune est longue de quinze pouces, large d'un pouce et de l'épaisseur d'un demi-pouce; il est arrangé dans une boîte de manière à présenter à l'une de ses extrémités deux pôles extérieurs (fig. 5). Ces pôles débordant la boîte horizontalement de six pouces, avaient chacun douze pouces de long et trois de large. Ils étaient à neuf pouces l'un de l'autre, et lorsqu'on eut mis entre eux un cylindre de fer doux, de trois quarts de pouce en diamètre et de douze pouces en longueur, il y fallut une force de presque cent livres pour rompre le contact. Le pôle qui se trouve à gauche dans la figure est le pôle *marqué* (marked) (1).

(45) Dans toutes les expériences faites avec un tel aimant, le galvanomètre indicateur en était à huit pieds

(1) Pour éviter toute confusion par rapport aux pôles de l'aimant, j'appellerai pôle *marqué* (marked) le pôle tourné au nord; je peux, par incident, parler des extrémités nord et sud de l'aiguille, mais je n'entends pas indiquer par là les pôles

de distance à peu près, placé non directement vis-à-vis les pôles, mais à 16° ou 17° environ de côté. On remarqua que, soit en opérant, soit en détruisant la jonction des pôles par le fer doux, l'instrument en était légèrement affecté; on put détruire sans peine et exactement toute erreur d'observation produite par cette cause.

(46) Un tel aimant donna des effets électriques fort frappants. On mit en contact avec ses deux pôles (fig. 5) un cylindre de fer doux, long de treize pouces, introduit d'avance dans la spirale creuse composée, dont les bouts, réunis en deux extrémités communes (39), avaient été attachés au galvanomètre; il en résulta un développement d'électricité si puissant qu'il put faire faire à l'aiguille plusieurs révolutions de suite (1).

(47) Malgré cette grande puissance, si le contact était continué, l'aiguille reprenait sa position naturelle, cessant entièrement d'être influencée par la position de la spirale (30). Mais en rompant le contact magnétique, l'aiguille tournait dans une direction contraire avec la même force qu'auparavant.

(48) On roula une fois autour du cylindre de fer un morceau d'une planche de cuivre formant comme un

nord et sud. Pour bien des gens le véritable pôle nord d'une aiguille est celui qui est tourné au sud; mais dans ce pays un tel pôle est souvent appelé le pôle sud.

(1) Une barre de fer doux formant l'armure d'un aimant en fer à cheval, enveloppée vers son milieu d'un fil enroulé de la même substance, devient, par juxtaposition avec l'aimant, une source prompte d'un courant d'électricité passager, mais énergétique.

tuyau, en ayant pourtant la précaution de placer entre les tours consécutifs une feuille de papier pour empêcher tout contact entre eux, et puis on joignit les bords du cuivre avec les fils du galvanomètre. Lorsque le fer toucha les pôles, le galvanomètre en fut puissamment affecté.

(49) Mettant de côté les hélices et les feuilles roulées, on fit passer les fils du galvanomètre sur la barre de fer, qu'ils n'embrassaient ainsi qu'à moitié (fig. 6); cependant l'aiguille était toujours puissamment affectée chaque fois que le contact magnétique était établi ou rompu.

(50) On obtint encore de puissans effets lorsque la spirale, avec son cylindre de fer, fut portée près des pôles magnétiques, sans pourtant les toucher. Lorsqu'elle fut approchée de ces pôles ou placée entre eux (44) (mais sans le cylindre de fer, et par conséquent sans autre métal que du cuivre), l'aiguille fut éloignée de 80° , 90° , et plus, de sa position naturelle. La force inductive était naturellement plus grande à mesure qu'on portait plus près des pôles la spirale sans son cylindre de fer ou avec lui; au reste, soit que la spirale sans son cylindre ou avec lui fût ou ne fût pas mise en contact avec l'aimant, il en résultait les mêmes phénomènes; c'est-à-dire, aucun effet permanent n'était produit au galvanomètre, et les effets pendant l'approximation et l'éloignement étaient le contraire l'un de l'autre (30).

(51) On introduisit dans la spirale une barre de cuivre semblable au cylindre de fer : l'effet qui en résulta ne fut pas plus grand que sans barre. Mais lorsque celle-ci fut remplacée par un gros fil de fer, l'induction magnéto-électrique devint sensiblement plus grande.

(52) La direction du courant électrique, produit dans

toutes ces expériences par l'usage de la spirale, fut la même que celle, dont nous avons déjà parlé (38), obtenue par l'emploi de la plus faible barre aimantée.

(53) Une spirale formée de quatorze pieds de fil de cuivre, attachée au galvanomètre et approchée directement vers le pôle *marqué* (marked) dans la ligne de son axe, affecta l'instrument avec force. Le courant d'induction (formé par influence, *induced*) dans la spirale, était en direction contraire au courant que M. Ampère regarde théoriquement comme existant dans l'aimant (38) ou au courant qui existe en effet dans un électro-aimant de polarité analogue. Lorsque la spirale fut retirée, il y eut renversement de direction dans le courant d'induction (*induced*).

(54) On fit traverser une spirale semblable par un courant de quatre-vingts couples de quatre pouces, de manière à former un électro-aimant, en même temps qu'on approcha d'elle l'autre spirale attachée au galvanomètre (53). L'aiguille indiqua par ses oscillations un courant dans la spirale du galvanomètre, contraire au courant de la spirale de la pile (18, 26). En éloignant cette dernière spirale, l'aiguille marchait dans une direction contraire.

(55) Des courans par induction furent développés (*induced*) dans de simples fils métalliques en les approchant, en certaines directions, vers le pôle magnétique. Leur éloignement de ce pôle produisait un renversement de direction dans les courans. Il faut avoir soin, dans toutes les expériences de pareille nature, que les fils soient éloignés dans les directions mêmes suivant lesquelles ils ont été approchés; autrement il arrive des

effets bizarrement compliqués et irréguliers, dont nous mettrons en évidence les causes dans la quatrième partie de cet écrit.

(56) C'est en vain qu'on s'efforça d'obtenir des effets chimiques par le courant électrique *d'induction*, quoiqu'on employât les précautions déjà indiquées (22) et toutes les autres qu'on put imaginer. On n'en retira aucune sensation sur la langue ni aucun effet convulsif sur les membres d'une grenouille : il fut de même impossible de faire rougir ni du charbon ni un fil métallique (133). Mais en répétant les expériences, avec plus de loisir, à l'Institut royal, avec un aimant armé (*armed*) appartenant à M. le professeur Daniell, et capable de soulever trente livres environ, on parvint à exciter des convulsions très-violentes dans une grenouille chaque fois qu'on opérait le contact magnétique. On ne put d'abord obtenir le même résultat par l'interruption du contact ; mais songeant que cette absence de résultat pouvait dériver de la lenteur comparative avec laquelle on interrompait le contact magnétique, on effectua ce mouvement par un rude coup, et la grenouille fut immédiatement saisie par de fortes convulsions. On produisait des convulsions toujours plus violentes à mesure qu'on opérait avec plus de vitesse la jonction ou la disjonction. Je pensai alors que je pourrais aussi éprouver la sensation sur la langue et voir l'étincelle ; mais je ne parvins à obtenir aucun signe de décomposition chimique.

(57) Toutes les expériences rapportées dans cette section prouvent très-complètement, je pense, la production de l'électricité par le magnétisme ordinaire. Que son intensité soit bien faible et sa quantité bien petite ;

il serait impossible de le trouver extraordinaire, quand on se rappelle que, comme la thermo-électricité, elle est entièrement développée dans la substance de métaux qui conservent toute leur puissance conductrice. Mais un agent qui est conduit le long des fils métalliques de la manière que nous avons exposée; qui, pendant un tel passage, est doué des propriétés particulières magnétiques et de la force d'un courant d'électricité; un agent qui peut ébranler et mettre en convulsion les membres d'une grenouille, et qui peut enfin, dans la décharge, produire l'étincelle par le charbon de bois (32), un tel agent ne peut être que de l'électricité. Comme on peut obtenir tous les effets décrits, par les électro-aimans contenant du fer, il n'y a aucun doute que dans les expériences dont il s'agit, on ne puisse faire usage d'arrangemens pareils aux aimans de MM. les professeurs Moll, Henry, Jen Eyke et d'autres, aimans auxquels on a pu suspendre jusqu'à deux mille livres; et cela étant, on doit pouvoir en obtenir non seulement une plus éclatante étincelle, mais aussi exciter l'ignition dans des fils métalliques et produire des actions chimiques, puisque le courant peut passer les liquides (23). Il doit être encore plus facile d'obtenir ces effets, lorsque les arrangemens magnéto-électriques, dont on traitera dans la quatrième section, seront excités par les forces des appareils en question.

(58) L'affinité d'action, qui va presque à l'identité, entre les aimans et les *électro-aimans*, ou les courans *volta-électriques*, s'accorde admirablement avec la théorie de M. Ampère, et fournit de puissantes raisons pour croire que l'action est la même dans les deux cas;

mais comme il est encore nécessaire d'introduire une distinction dans le langage, je propose d'appeler l'action ainsi excitée par les aimans ordinaires, induction *magnéto-électrique*, ou *magnélectrique* (26).

(59) La seule différence dont on est vivement frappé en comparant l'*induction volta-électrique* et l'*induction magnéto-électrique*, c'est la promptitude avec laquelle agit la première, et le temps sensible qu'y emploie la seconde. Mais dans cette première époque d'investigation il y a déjà des circonstances qui paraissent indiquer que par des recherches postérieures on verra une telle différence s'évanouir comme une distinction philosophique (68).

§ III. *Nouvel état électrique de la matière* (1).

(60) Lorsqu'un fil de métal est soumis à l'induction *volta-électrique* ou *magnéto-électrique*, il semble être dans un état particulier; car il résiste à la formation d'un courant électrique, quoique dans les conditions ordinaires ce courant puisse être produit. Et lorsqu'on cesse d'agir sur lui, il a le pouvoir de produire un courant, pouvoir qu'il ne possède pas dans les circonstances ordinaires. Cette condition électrique de la matière n'avait

(1) Cette section ayant été lue à la Société royale, et ayant été annoncée à l'Institut de France, en conséquence de ma lettre à M. Hachette, je suis obligé de la laisser subsister dans ce mémoire. Mais des recherches (73, 76, 77) sur les lois de ces phénomènes me font penser qu'on peut les expliquer sans admettre l'état *électro-tonique*; on verra la suite de mes idées sur ce point dans la seconde partie de ces recherches. (M. F.)

pas été constatée jusqu'à présent, mais elle exerce probablement une grande influence dans presque tous, sinon dans tous les phénomènes produits par les courans électriques. Après en avoir parlé avec plusieurs de mes savans amis, je me suis aventuré à désigner cet état sous le nom d'*électro-tonique* ; on en verra la raison bientôt (71).

(61) Cette condition particulière ne montre aucun signe électrique lorsqu'elle subsiste quelque temps, et je n'ai jamais été à même de découvrir que la matière possédât aucune propriété spéciale lorsqu'elle restait dans cet état.

(62) Elle ne montre aucune réaction par des pouvoirs attractifs ou répulsifs. Les diverses expériences qui ont été faites avec de puissans aimans sur le cuivre, l'argent, et en général sur des corps non magnétiques, prouvent ce point. J'ai placé des disques de cuivre et d'argent, suspendus délicatement à une balance de torsion dans le vide, près des pôles d'un puissant aimant, et je n'ai jamais pu observer la moindre attraction ou répulsion.

(63) J'ai mis aussi un petit morceau d'or en feuille près d'une barre de cuivre, en formant un contact métallique aux extrémités par du mercure. Cet appareil fut placé dans le vide, de manière que des barres de métal, en contact avec les extrémités de l'appareil, pussent passer dans l'air. Alors j'ai fait mouvoir de puissans pôles magnétiques dans différentes directions, en formant ou en interrompant le circuit par des fils métalliques. Mais je n'ai jamais obtenu aucun mouvement sensible dans la feuille d'or, qu'elle fût dirigée vers l'aimant ou vers la barre de cuivre latérale qui devait se trouver dans un état semblable.

(64) Dans quelques cas, on a supposé que dans ces

circonstances il s'est développé des forces attractives et répulsives; c'est-à-dire que ces corps sont devenus de forts aimans. Mais les phénomènes que nous venons de décrire et la confiance que nous inspire la théorie de M. Ampère sur le magnétisme tendent à nous faire douter de ces faits. Car si le magnétisme dépend de l'attraction des courans électriques, et si de puissans courans excités à la fois par l'induction volta-électrique et magnéto-électrique, cessent instantanément et naturellement (12, 28, 47), produisant en même temps une entière cessation des effets magnétiques sur l'aiguille du galvanomètre, il y a peu d'espoir que des substances (qui ne se trouvent pas dans le cas spécial du fer, du nickel et d'un ou deux autres corps) puissent montrer des attractions magnétiques. Il semble plus probable que les très-faibles effets observés sont dus à la présence du fer ou à quelque autre cause magnétique inconnue.

(65) Cette condition particulière n'exerce aucun pouvoir pour retarder ou accélérer les courans électriques qui passent à travers les métaux dont nous avons parlé (20, 33), et on ne découvre aucun effet de cette nature sur le courant *inducteur*; car lorsque des masses de métal (fils, spirales, etc.) étaient disposées d'une manière quelconque, elles ne changeaient en aucune manière l'indication du courant mesuré par le galvanomètre. Le métal, dans cet état spécial supposé, conduit l'électricité dans toutes les directions avec son pouvoir ordinaire, ou, en d'autres termes, son pouvoir conducteur n'en est pas sensiblement altéré.

(66) Tous les métaux peuvent prendre cet état particulier; cela est prouvé, par les expériences précédentes,

pour le cuivre et le fer (9); et pour l'or, l'argent, l'étain, le plomb, le zinc, l'antimoine, le bismuth, le mercure, etc., par des expériences qui seront décrites dans la quatrième partie (132) et qui sont d'une facile application. Par rapport au fer, l'expérience prouve la remarquable indépendance de ces phénomènes d'induction et des effets magnétiques ordinaires de ce métal.

(67) Cet état est l'effet de l'*induction* (influence) et cesse aussitôt que l'on a éloigné la force inductrice. Il est produit ou par le passage latéral d'un courant galvanique (26), ou par la formation d'un aimant (34, 36), ou par la seule approche d'un aimant (39, 50), et est une forte preuve à ajouter à celles de M. Ampère sur l'identité des agens dans ces opérations. Il se forme, probablement, momentanément dans le passage de l'étincelle électrique commune (24), et on pourra le trouver peut-être dans de mauvais conducteurs par de faibles courans électriques, ou par d'autres moyens (74, 76).

(68) L'état dont il est question semble se produire d'une manière instantanée (12), car cela se fait dans un espace de temps à peine sensible. La différence de temps entre l'induction *volta-électrique* et l'induction *magnéto-électrique*, rendue appréciable par le galvanomètre (59), peut être vraisemblablement expliquée de la sorte. Lorsqu'on fait passer un courant voltaïque à travers un seul de deux fils métalliques parallèles, comme ceux de la spirale creuse (34), il se produit dans l'autre fil un courant qui n'a pas plus de durée qu'on n'emploie de temps à une opération de pareille nature, et que l'on trouve par expérience inappréciablement faible. L'opération doit paraître encore plus instantanée parce que,

comme il y a une accumulation de puissance dans les pôles de la batterie avant le contact, le premier jet d'électricité dans le fil de communication est plus grand que celui qui se soutient après que le contact est complété ; le fil soumis à l'influence devient de suite *électro-tonique* à un degré équivalent, et le moment après, il descend à cet état où les courans continus peuvent se soutenir, si ce n'est qu'en descendant il produit un courant d'induction contraire à l'autre qui a été produit d'abord. La conséquence qui suit de là, c'est que le premier courant d'électricité par induction a plus de ressemblance que tout autre avec l'électricité qu'on obtient par la décharge d'une bouteille électrique.

(69) Mais lorsque le cylindre de fer est introduit dans la même spirale (34), préalablement attachée à la pile, le courant qui part de cette dernière peut être considéré comme doué de la propriété d'exciter dans le fer d'innombrables courans d'une nature homogène à la sienne, et de l'aimanter. C'est une chose connue par expérience, qu'un aimant formé de la sorte, même de fer doux, n'atteint pas sa plus grande intensité dans un instant, et la raison en est, peut-être, celle-ci, que la formation ou disposition des courans dans le fer se fait successivement. Mais comme l'aimant peut exercer un pouvoir d'induction aussi bien que le courant de la pile, l'action combinée de l'un et de l'autre continue à produire un flux d'électricité (*induced*) jusqu'à ce que leur effet combiné soit à son maximum ; de cette manière l'existence de la force de déviation est assez prolongée pour vaincre l'inertie de l'aiguille du galvanomètre.

(70) Dans tous ces cas, où les spirales ou les fils mé-

taliqués sont approchés ou éloignés de l'aimant (50, 55), le courant direct ou contraire de l'électricité induite continue pendant le temps qu'on emploie à l'approchement ou à l'éloignement ; car dans cet intervalle l'état électro-tonique va en montant ou en descendant à son plus haut ou à son plus bas degré, et ces changemens sont accompagnés d'un développement analogue d'électricité ; mais il n'y a pas là d'objection à l'opinion que l'état *électro-tonique* se forme d'une manière instantanée.

(71) L'état dont il s'agit semble être un état de tension, et peut être considéré comme équivalent à un courant électrique, au moins égal au courant qui est produit lorsque l'induction a lieu ou lorsqu'ensuite elle est supprimée. Cependant le courant développé dans l'un ou dans l'autre de ces momens, ne peut pas être considéré comme une mesure du degré de tension que possède l'état *électro-tonique* ; car comme le métal conserve inaltérablement son pouvoir conducteur (65), et que l'électricité qui se développe ne dure qu'un moment (attendu que l'état particulier en question est formé et détruit d'une manière instantanée) (68) ; l'électricité, qui peut s'écouler au travers de longs fils conducteurs, présentant une accumulation dans leur substance, proportionnelle à leur petit diamètre et à leur grande longueur, ne peut être qu'une très-petite portion de celle qui est réellement développée dans la masse au moment où se forme la sorte d'état dont il s'agit. Des spirales isolées et des portions de métal furent instantanément soumises à l'état en question ; mais on ne put découvrir en elles aucune trace d'électricité, quoiqu'on opérât le contact avec l'électromètre immédiatement après qu'elles

avaient été soumises à l'induction, soit par le courant de la pile, soit par l'aimant. Une simple goutte d'eau ou un petit morceau de papier humecté (23, 56) étaient un obstacle suffisant pour arrêter le courant à travers les conducteurs : l'électricité qui avait été développée revenait à un état d'équilibre dans le métal même, ce qui se faisait par conséquent d'une manière inaperçue.

(72) La tension de l'état en question peut donc être comparativement fort grande ; mais grande ou petite qu'elle soit, on a peine à concevoir comment elle existerait sans exercer une réaction sur le courant cause de l'induction (inducing) et sans faire équilibre à quelque chose. On pourrait dire d'avance qu'un tel équilibre doit produire un retard dans le courant original ; mais il m'a été impossible d'acquiescer la certitude que la chose soit ainsi ; et de même, je n'ai pu d'aucune manière dé mêler les effets qui doivent être attribués à une telle réaction.

(73) Tous les résultats obtenus viennent à l'appui du principe que l'état électro-tonique se rapporte aux molécules et non à la masse du fil ou de la substance assujettie à l'induction, étant à cet égard différent de l'influence développée par l'électricité de tension. Si cela est, on doit pouvoir produire un pareil état dans les liquides lorsqu'il n'y a pas de courant électrique sensible, et même dans les substances non-conductrices ; le courant n'étant ensuite, lorsqu'il se forme, qu'une continence, pour ainsi dire, due à l'existence du pouvoir conducteur et à la force répulsive momentanément développée par les molécules pendant leur arrangement. Même lorsque les pouvoirs conducteurs sont égaux, les

courans d'électricité, qui sont encore les seuls indicateurs de l'état en question, peuvent être inégaux à cause des différences de nombre, de grandeur, de condition électrique, etc., etc., existantes dans les molécules. Ce n'est qu'après avoir reconnu les lois du nouvel état dont il s'agit, que nous serons dans le cas de prédire la véritable condition de chaque substance en particulier et les résultats électriques qu'on peut en obtenir.

(74) Ce courant d'électricité qui excite l'état électro-tonique dans un fil métallique voisin, excite probablement le même état dans son propre fil; car lorsque par un courant dans un fil on rend électro-tonique un fil collatéral, ce dernier état ne devient nullement incompatible ou répugnant avec un courant d'électricité qui traverse le fil (62). C'est pourquoi, si au lieu de faire passer le courant dans le premier fil on le faisait passer dans le second, il n'y a pas raison de croire que son action inductive sur ce second fil eût à diminuer : elle devrait au contraire être plus forte, parce que la distance entre l'agent et la matière qui le subit, serait très-considérablement diminuée. On mit en contact les extrémités d'une barre de cuivre avec un galvanomètre et les pôles d'une pile d'une centaine de couples avec la barre, de manière à la faire traverser par le courant; le circuit voltaïque fut soudainement rompu, et on observa le galvanomètre pour y chercher quelques indices d'un courant en retour à travers la barre de cuivre, dû à la décharge de son état électro-tonique supposé. On n'obtint aucun effet de cette nature, et réellement on ne devait pas en attendre pour deux raisons; car, premièrement, comme la cessation de la cause inductrice et celle de l'état

électro-tonique sont simultanées et non successives, le courant en retour ne pourrait être qu'équivalent à la neutralisation de la dernière portion du courant inductif, et ne pourrait conséquemment montrer aucune altération de direction ; ou bien, en supposant que cela pût arriver et que le dernier fût effectivement différent du premier, son caractère brusque d'instantanéité (12, 26) empêcherait qu'il ne fût constaté.

(75) Je crois qu'il ne s'élève aucune difficulté en considérant le fil métallique rendu ainsi électro-tonique par son propre courant plutôt que par un courant extérieur, surtout si on a égard à la non-répugnance apparente de cet état avec les courans (63, 71). La coexistence des états conductif et électro-tonique trouve une analogie dans la manière dont les courans électriques peuvent passer à travers des aimans ; on sait que dans ce cas les courans qui passent, ainsi que ceux des aimans, conservent également toutes leurs propriétés distinctes les unes des autres, et développent leurs actions mutuelles.

(76) La raison donnée pour les métaux est valable aussi pour les fluides et pour tout autre conducteur ; d'où il s'ensuit que lorsque les courans électriques passent à travers les corps, ceux-ci subissent l'état électro-tonique. Si l'on prouve qu'il en est ainsi, l'influence de cet état dans la décomposition voltaïque et le transport des élémens aux pôles peut être difficilement révoquée en doute. Il paraît que dans l'état électro-tonique les molécules homogènes de la matière prennent une disposition électrique régulière, mais forcée, dans la direction du courant ; disposition qui produit, lorsqu'elle cesse, un

courant en retour, si la matière est indécomposable ; mais dans la matière décomposable , un pareil état forcé peut suffire à ce qu'une molécule élémentaire quitte sa compagne , avec laquelle elle se trouve dans un état de contrainte , pour se joindre à une molécule voisine analogue , par rapport à laquelle elle est dans une condition plus naturelle , la disposition électrique forcée se trouvant elle-même à l'instant détruite aussi efficacement que si le corps était soustrait à l'induction. Mais si le courant voltaïque originaire est continué, l'état électrotonique peut être renouvelé à chaque instant, obligeant ainsi la disposition forcée des molécules composées à se résoudre aussi à chaque instant en un transport des molécules élémentaires d'espèces contraires dans des directions opposées, mais parallèles au courant. Les différences entre l'électricité commune et l'électricité voltaïque, appliquées à produire des décompositions chimiques, signalées par M. le docteur Wollaston (1), paraissent aussi explicables par les circonstances qui se rattachent à l'induction de l'électricité provenant de ces deux sources (25). Mais comme je réserve cette branche de recherches, et pour continuer les investigations contenues dans cet écrit, je m'imposerai, quoique à regret, de ne pas présenter des spéculations ultérieures.

(77) M. Marianini a découvert et décrit une propriété particulière des surfaces des disques métalliques ; mis en contact avec des conducteurs humides, lorsqu'on a fait passer au travers d'eux un courant d'électricité,

(1) *Annales de Chimie*, xxxviii, 5.

ils ont la faculté de produire un courant électrique en sens contraire. M. Marianini a su appliquer ce résultat à l'explication des phénomènes des piles de Ritter (1). Une autre propriété particulière, dont sont susceptibles les conducteurs métalliques, a été décrite par M. A. de La Rive. Lorsque, plongés dans un liquide comme des pôles, ils ont complété, pour quelque temps, le circuit voltaïque et qu'ensuite ils sont séparés de la pile et plongés dans le même fluide, ils produisent eux-mêmes un courant voltaïque (2). M. A. Van Beek a détaillé des cas où la relation électrique d'un métal en contact avec un autre resta la même après la disjonction, et fut accompagnée par les mêmes effets chimiques (3). Il paraît que les états et les résultats dont nous tenons de parler, diffèrent de l'état électro-tonique et de ses phénomènes ; mais on ne pourra décider du véritable rapport des premiers avec les seconds que lorsque nos connaissances sur tous ces phénomènes auront été augmentées.

(78) J'ai eu occasion, au commencement de cet écrit (2), de faire mention d'une expérience de M. Ampère comme de l'une de celles qui concernent l'induction électrique des courans, faites précédemment aux recherches présentes, et j'ai avancé des conclusions qui paraissent répandre des doutes sur l'exactitude de l'expérience (62, etc.) ; je suis donc en devoir envers M. Ampère de

(1) *Transactions philosophiques*, 1801, p. 247.

(2) *Annales de Chimie*, xxviii, 190.

(3) *Ibid.*, xxviii, 49.

discuter la chose plus distinctement. M. Ampère dit que si on suspend à un fil de soie un disque de cuivre et qu'on l'entoure d'une spirale, en dirigeant à travers la spirale la décharge d'une puissante pile voltaïque, en même temps qu'on présente un aimant énergique au disque de cuivre, celui-ci tourne immédiatement pour prendre une position d'équilibre, exactement comme s'il avait été mis en mouvement par la spirale en rotation. Quant à moi, il m'a été impossible d'obtenir ces résultats, pas même un mouvement; mais la cause qui m'a fait échouer à ce dernier égard peut être attribuée à l'existence momentanée du courant qui ne donnait pas le temps nécessaire pour vaincre l'inertie du disque (11, 12). M. Ampère a pu probablement obtenir le mouvement à cause de la délicatesse supérieure et de la puissance de son appareil électro-magnétique, ou bien il n'a obtenu que le mouvement dû à une cessation d'action. Au fait, tous mes résultats tendent à intervertir le sens de la proposition arrêtée par M. Ampère, « qu'un « courant d'électricité est porté à mettre en mouvement « dans la même direction l'électricité des conducteurs « près lesquels il passe, » car ils indiquent une direction contraire au courant produit (26, 58); et ils font voir que l'effet est momentané, qu'il est produit par l'induction magnétique, et que de là s'ensuivent quelques autres effets extraordinaires.

(79) L'existence momentanée des phénomènes d'induction que nous venons de décrire suffit pour justifier l'incertitude ou le mauvais succès des expériences faites jusqu'à présent dans le but d'obtenir de l'électricité des

aimans , ou de produire par leur moyen la décomposition chimique (1).

(80) Ce même fait semble aussi pouvoir expliquer les actions remarquables observées par M. Arago entre les métaux et les aimans , lorsque les uns et les autres sont mis en mouvement (120) , et semble pouvoir expliquer aussi la plus grande partie des résultats obtenus par sir John Herschel, MM. Babbage, Harris et autres, en répétant les expériences de M. Arago ; expliquant parfaitement , en même temps , ce qui auparavant semblait inexplicable , particulièrement la non-action des mêmes métaux et aimans dans d'autres circonstances. Je vais

(1) *Le Lycée*, n° 36, du premier janvier, donne un article fort long et prématuré, où il s'efforce de faire voir que mes recherches ont été précédées par celles des savans de France. Mais il prend pour vrais les faux résultats de MM. Fresnel et Ampère, et il croit ainsi que les résultats exacts que j'ai obtenus ressemblent à ces résultats erronés. Je fais cette remarque pour citer ce qui honore M. Fresnel bien plus que ne l'aurait fait une faible antériorité dans les recherches dont il s'agit. Cet illustre savant fit, en même temps que moi et cinquante autres personnes, des expériences qui ne donnèrent aucun des résultats qu'on en attendait, comme cet écrit le prouve. Momentanément abusé, il publia ses succès imaginaires ; mais en répétant mieux ses expériences, il ne put recueillir aucune preuve de leur exactitude ; et guidé par le désir noble et pur de détruire l'erreur autant que de découvrir la vérité, il rétracta sa première proposition. L'exemple de Berzelius, par rapport à la *thorine*, est une autre preuve d'un si beau sentiment ; et comme les occasions de les imiter ne sont pas rares, il serait convenable à la dignité de la science que de tels exemples se renouvelassent plus fréquemment. — Ce 10 février 1832.

décrire maintenant ces résultats qui donnent en même temps les moyens les plus prompts d'obtenir de l'électricité par le magnétisme.

§ IV. *Explication des phénomènes magnétiques de M. Arago.*

(81) Si on fait tourner un disque de cuivre près d'une aiguille magnétique ou d'un aimant, suspendus de manière à pouvoir librement tourner dans un plan parallèle à celui du disque, l'aimant tend à suivre le mouvement de ce disque; de même, si c'est l'aimant qu'on fait tourner, le disque tend à suivre le mouvement de l'aimant; et l'effet qui en résulte a une telle puissance, qu'on peut imprimer un mouvement de rotation à des aimans ou à des disques de plusieurs livres de poids. L'aimant et le disque en état de repos l'un relativement à l'autre, ne présentent entre eux aucun effet ni d'attraction ni de répulsion, ni d'autre espèce quelconque (62). Voilà les phénomènes découverts par M. Arago; il établit qu'ils ont lieu non seulement avec tous les métaux, mais avec les solides, les liquides, et même avec les gaz, c'est-à-dire avec toutes les substances (130).

(82) M. Babbage et sir John Herschel ont répété ensemble, en Angleterre (1), les expériences dont nous venons de parler, et ils s'en ont pu obtenir les effets désirés qu'avec les métaux et avec le charbon dans un état particulier (des cornues à gaz), c'est-à-dire avec d'excel-

(1) *Transactions philosophiques*, 1825, p. 467.

lens conducteurs d'électricité. Ils attribuent leur résultat au magnétisme excité dans le disque par l'aimant, à ce que le pôle de ce dernier produit un pôle opposé dans la partie du disque la plus voisine et une plus diffuse polarité de sa propre nature tout autour à quelque distance (120). La circonstance essentielle en produisant la rotation de l'aimant suspendu, est que la substance qui tourne au-dessous de lui, acquière son magnétisme et le perde dans un temps fini et non instantanément (124). Selon cette théorie, le résultat qu'on obtient serait dû à une force attractive, ce qui n'est point accordé ni par l'auteur de la découverte, M. Arago, ni par M. Ampère; ils allèguent contre une telle théorie l'absence de toute attraction lorsque l'aimant et le métal demeurent en repos (62, 126), quoique le magnétisme par influence dût subsister. D'après les expériences faites avec une longue aiguille d'inclinaison, ils pensent que l'action est toujours répulsive (125).

(83) Ayant obtenu de l'électricité des aimans par les moyens déjà décrits (36, 46), j'espérai trouver dans les expériences de M. Arago une source nouvelle d'électricité, et je ne crus pas impossible, par le moyen de l'induction terrestre magnéto-électrique, d'arriver à construire une nouvelle machine électrique. Animé par ces sentimens, je fis de nombreuses expériences avec l'aimant de la Société royale, dans la maison de M. Christie, qui m'a procuré l'avantage de son assistance. Mais comme plusieurs de ces expériences ont été suspendues pour chercher des dispositions plus parfaites, je pense qu'il m'est permis de les remettre dans l'ordre qui peut le plus promptement faire ressortir ce qui est, selon moi, une

manière exacte d'envisager les phénomènes en question.

(84) Nous avons déjà fait la description de l'aimant (44). Pour concentrer les pôles et les rapprocher davantage l'un de l'autre, on plaça transversalement, comme dans la fig. 7, deux barres de fer ou d'acier, de six à sept pouces en longueur chacune, d'un pouce en largeur, et d'un demi-pouce en épaisseur; et pour qu'elles pussent rester près ou loin l'une de l'autre, selon le besoin, on les attacha avec du fil pour les empêcher de glisser. Quelquefois on fit usage de deux barres de fer doux, tellement disposées que, lorsqu'on les eut appliquées à chaque pôle, les deux pôles plus petits qui en résultaient se trouvaient l'un au-dessus de l'autre verticalement, quel que fût le plus élevé des deux.

(85) Un disque de cuivre, de douze pouces en diamètre, et d'un cinquième de pouce en épaisseur, fut fixé sur un axe d'airain, et monté de manière à pouvoir tourner verticalement ou horizontalement, et qu'en même temps on pût introduire plus ou moins son bord entre les pôles magnétiques (fig. 7). On prit soin de couvrir d'amalgame le bord du disque, à l'effet d'obtenir un bon contact, mais mobile; la partie du disque autour de l'axe fut préparée de la même manière.

(86) On apprêta des conducteurs ou collecteurs de cuivre ou de plomb, pour les mettre en contact avec le bord du disque de cuivre (85), ou avec des disques d'autres formes dont nous parlerons bientôt (101). Ces conducteurs étaient longs de quatre pouces environ, larges d'un tiers de pouce, et épais d'un cinquième de pouce; chacun d'eux fut légèrement évidé à l'une des extrémités, pour que le bord des disques, tant soit peu con-

vexe , pût s'y ajuster avec plus d'exactitude ; et ces extrémités , ainsi évidées , furent ~~en~~ même temps munies d'amalgame. Des fils de cuivre, d'un septième de pouce en épaisseur, attachés , de la manière ordinaire, par des circonvolutions, aux autres extrémités des conducteurs, allaient de ce point au galvanomètre.

(87) Le galvanomètre était grossièrement fait, mais assez délicat dans ses indications. Le fil était de cuivre enveloppé de soie, et comptait seize ou dix-huit circonvolutions. On aimanta deux aiguilles à coudre, et on les passa à travers une tige d'herbe séchée, l'une parallèlement à l'autre , mais dans des directions opposées, et à un demi-pouce de distance ; ce système fut suspendu au moyen d'un fil de soie non tordue, de sorte que l'aiguille inférieure se trouvât entre les circonvolutions du multiplicateur, et la supérieure au-dessus d'elles. Cette dernière était de beaucoup le plus fortement magnétique, et donnait à tout l'ensemble la direction terrestre ; la huitième figure représente la direction du fil et des aiguilles, lorsque l'instrument était placé dans le méridien magnétique ; les bouts des fils sont marqués A et B. Par les lettres S et N , on a désigné les extrémités sud et nord de l'aiguille uniquement influencée par le magnétisme terrestre ; ainsi l'extrémité N était le pôle marqué (44). L'ensemble de l'instrument était protégé par une bouteille de verre, et pour ce qui est position et distance à l'égard du grand aimant, elle se trouvait dans les mêmes circonstances qu'auparavant (45).

(88) Après tous ces préparatifs, on adapta le disque de cuivre comme dans la fig. 7, les petits pôles magnétiques étant à la distance d'un demi-pouce environ l'un de

l'autre, et le bord du disque ayant été introduit entre eux jusqu'à la moitié de leur largeur environ. L'un des fils du galvanomètre fut passé deux ou trois fois d'une manière lâche autour de l'axe métallique du disque, et l'autre fut attaché au conducteur (86), qui était lui-même retenu à la main en contact avec le bord amalgamé du disque, dans la partie qui se trouvait immédiatement entre les pôles magnétiques. Dans cet état de choses tout était en repos, et le galvanomètre ne signalait aucun effet ; mais aussitôt que le disque entra en mouvement, le galvanomètre en fut influencé, et dans la rotation du disque, l'aiguille poussa promptement sa déviation jusqu'à 90° et plus.

(89) Jusqu'ici il était difficile d'opérer un contact qui fût uniformément parfait, entre le conducteur et le bord du disque rotateur ; il était également difficile dans les premières expériences d'obtenir une vitesse régulière de rotation : l'une et l'autre de ces circonstances tendaient à retenir l'aiguille dans un état continu d'oscillation ; on reconnaissait cependant sans aucune peine de quel côté déviait l'aiguille, ou en général dans quel sens elle oscillait. Ensuite, lorsque les expériences furent faites plus soigneusement, on obtint une déviation permanente de l'aiguille de près de 45° .

(90) On avait donc par là démontré la production d'un courant permanent d'électricité par le moyen des aimans ordinaires (57).

(91) En donnant au disque un mouvement en sens contraire, sans rien changer dans le reste, l'aiguille du galvanomètre présentait une déviation également forte qu'auparavant, mais en sens contraire ; ainsi donc alors

le courant d'électricité développée marchait à l'opposite du premier.

(92) Lorsque le conducteur était placé au bord du disque, un peu à droite ou à gauche, tel qu'on le voit dans les positions ponctuées de la figure 9, le courant d'électricité se développait toujours et dans la même direction qu'auparavant (88, 91). Cela avait lieu même à une considérable distance, c'est-à-dire à 50° ou 60° de chaque côté de la place des pôles magnétiques. Le courant ramassé par le conducteur et transporté au galvanomètre était de la même espèce des deux côtés du point de plus grande intensité, mais à partir de cette place il allait successivement en décroissant de force. A une égale distance de la place des pôles magnétiques, le courant manifestait une égale puissance, n'étant à cet égard nullement affecté par la direction de la rotation; si ce n'est que quand la rotation du disque était faite en sens contraire, il y avait aussi renversement de direction dans le courant d'électricité : toutes les autres circonstances demeuraient inaltérables.

(93) En élevant le disque de manière que les pôles magnétiques fussent complètement cachés l'un à l'autre par son interposition (*a*, fig. 10), on obtenait les mêmes résultats, dans le même ordre et de la même intensité qu'auparavant. En l'élevant encore plus haut, de manière que *c* fût la place des pôles, les résultats étaient toujours les mêmes et en apparence de la même forme qu'auparavant.

(94) Lorsque le conducteur était appuyé contre le bord du disque comme s'il y avait été attaché, et qu'il en suivait le mouvement entre les pôles, l'aiguille du

galvanomètre se mouvait, mais de peu de degrés, et indiquait un courant d'électricité tel qu'on l'aurait obtenu en faisant tourner la roue dans la même direction, et en retenant le conducteur stationnaire.

(95) Lorsque la jonction du galvanomètre avec l'axe fut interrompue, et qu'on attacha ses fils à deux conducteurs, mis en contact l'un et l'autre avec les bords du disque de cuivre, on obtint des courans d'électricité qui présentaient des apparences plus compliquées, mais en parfaite harmonie avec les résultats précédens. Ainsi en appliquant les fils dont il s'agit, comme dans la figure 11, on obtenait un courant d'électricité à travers le galvanomètre; mais si leur place était tant soit peu changée, comme dans la 12^e figure, il en résultait un courant en direction contraire. En résumé, dans le premier cas, le galvanomètre indiquait la différence entre un courant énergique à travers A, et un faible courant à travers B; dans le second cas, il indiquait celle d'un faible courant à travers A, et d'un courant énergique à travers B (92), ce qui produisait par conséquent des déviations contraires dans l'aiguille.

(96) De même lorsque les deux conducteurs étaient équidistans des pôles magnétiques, comme dans la 13^e figure, le galvanomètre n'indiquait aucun courant de quelque manière que la rotation du disque fût faite, hors cet effet qui résultait momentanément de l'irrégularité du contact; et la raison en est que des courans égaux, ayant une même direction, tendaient à passer dans tous les deux. Mais lorsque les deux conducteurs étaient attachés à l'un des fils, et que l'axe l'était avec l'autre fil (fig. 14), le galvanomètre indiquait un courant déterminé

par la direction de la rotation (91), et les deux conducteurs agissaient d'accord comme le faisait auparavant un simple conducteur (88).

(97) En n'approchant du disque que l'un des pôles seulement, on obtenait encore tous les résultats que nous venons de décrire; ils étaient de la même nature pour ce qui est direction, mais moindres quant à la grandeur des effets.

(98) On prit tous les soins pour rendre ces résultats indépendans du magnétisme terrestre ou de l'influence mutuelle de l'aimant et des aiguilles du galvanomètre. On opéra les contacts à l'équateur magnétique du disque et en d'autres endroits; le disque fut placé horizontalement, les pôles verticalement, sans compter d'autres précautions convenables. Mais l'absence de toute action autre que l'action principale se faisait promptement reconnaître par le défaut absolu de résultat, lorsque le disque était éloigné des pôles, ou les pôles du disque; il n'y avait aucune variation dans les autres circonstances.

(99) On peut exprimer la relation du courant d'électricité qui était produit, avec le pôle magnétique, avec la direction de rotation du disque, etc., etc., en disant que lorsque le pôle *non marqué* (44, 84) est au-dessous du bord du disque, et que ce dernier tourne horizontalement à la manière d'une vis, l'électricité qui peut être recueillie au bord du disque le plus près du pôle est positive. Si l'on considère mentalement le pôle de la terre comme le pôle *non marqué*, il ne sera pas difficile de se rappeler le rapport dont nous venons de parler entre la rotation, le pôle et l'électricité développée. Ou bien si, dans la 15^e fig., on représente par le cercle le disque de

cuivre dont la rotation est dans la direction des flèches, et par a la projection du pôle *non marqué* placé au-dessous du disque, on recueillera en b et dans les parties environnantes une électricité positive, tandis que l'électricité qu'on recueillera au centre c et dans son voisinage sera négative (88). Les courans dans le disque marchent donc du centre vers les pôles magnétiques, et la circonférence.

(100) Si le pôle *marqué* est placé au-dessus, rien n'étant changé du reste, l'électricité en b , 15^e fig., est encore positive; s'il est placé au-dessous, ou bien si on place le pôle *non-marqué* au-dessus, il y a renversement dans l'électricité. Si la direction de la rotation, dans un cas quelconque, est renversée, l'électricité est renversée aussi.

(101) Il est maintenant évident que le disque en rotation n'est qu'une autre forme de l'expérience plus simple, par laquelle on fait passer un morceau de métal entre les pôles magnétiques dans une direction rectiligne, et qu'en pareil cas il y a des courans d'électricité produits à angles droits à la direction du mouvement, et qui traversent cette direction à l'endroit des pôles ou du pôle magnétique. On a pu s'en convaincre par la simple expérience suivante : on plaça entre les pôles magnétiques un morceau de plaque de cuivre, d'un cinquième de pouce en épaisseur, d'un pouce et demi en largeur, et de douze pouces en longueur, amalgamé aux bords, en mettant en même temps en contact avec ces derniers les deux conducteurs du galvanomètre; la plaque fut alors tirée, glissant entre des conducteurs dans la direction de la flèche, 16^e fig.; l'aiguille du galvanomètre subit immé-

diatement une déviation ; sa pointe nord , ou *marquée* , marcha vers l'est et indiqua que le fil A recevait une électricité négative , et que le fil B la recevait positive ; et comme le pôle *marqué* se trouvait au-dessus , on voit qu'un tel résultat tombe pleinement d'accord avec l'effet obtenu par le disque tournant (99).

(102) Quand on renversait le mouvement de la plaque, l'aiguille du galvanomètre présentait une déviation en direction opposée à celle d'auparavant, ce qui signalait un courant contraire.

(103) Pour mettre en évidence le caractère des courans électriques existant en plusieurs points de la plaque de cuivre en mouvement , et leurs différens rapports avec les pôles excitateurs , on n'appliqua à la partie qu'on se proposait d'examiner près du pôle, qu'un seul collecteur (86), en attachant l'autre au bout de la plaque, comme à l'endroit le plus neutre : on peut voir les résultats de cette expérience aux fig. 17-20, le pôle marqué étant au-dessus de la plaque. Dans la 17^e fig., B recevait une électricité positive ; mais la plaque se mouvant dans la même direction, il recevait du côté opposé (18^e fig.) une électricité négative ; en renversant le mouvement de la plaque, comme dans la 20^e fig., B recevait une électricité positive ; ou bien en renversant le mouvement du premier arrangement de manière à changer celui de la 17^e fig. en celui de la 19^e, B recevait une électricité négative.

(104) Si on plaçait préalablement de côté la plaque par rapport aux aimans, comme dans la 21^e fig., de manière à la mettre hors de l'axe polaire, on obtenait encore les mêmes effets, quoique moins puissans.

(105) Si les pôles magnétiques étant en contact, on

tirait la plaque de cuivre, entre les conducteurs, près de la jonction des aimans, on n'obtenait qu'un effet très-léger. Si on éloignait les pôles de la largeur d'une carte à jouer, l'effet en était tant soit peu augmenté, mais il était encore bien léger.

(106) On plaça un fil de cuivre amalgamé, d'un huitième de pouce en épaisseur, entre les conducteurs et les pôles (101), il produisit un effet très-considérable, quoique moins fort que celui des plaques.

(107) Si les conducteurs étaient maintenus constamment contre quelques points particuliers des plaques de cuivre, et étaient promenés avec ces dernières entre les pôles magnétiques, on obtenait les mêmes effets que ceux qu'on a déjà décrits, conformément aux résultats donnés par le disque rotateur (94).

(108) En tenant les conducteurs contre les extrémités des plaques, tandis qu'on passait celles-ci entre les pôles magnétiques, dans une direction transversale à leur longueur, on obtenait les mêmes effets (fig. 22). Les parties des plaques vers l'extrémité peuvent être regardées ou comme de simples conducteurs ou comme des parties de métal où le courant électrique est excité, selon leur distance et la force de l'aimant; mais les résultats étaient complètement analogues aux autres obtenus auparavant. L'effet fut aussi fort que lorsque les conducteurs étaient tenus contre les bords latéraux de la plaque (101).

(109) On fit passer entre les pôles un seul fil du galvanomètre, attaché de manière à former un circuit complet; le galvanomètre en fut affecté; on le fit aller de part et d'autre de manière que les impulsions alterna-

tives qu'il recevait fussent correspondantes aux oscillations de l'aiguille ; celles-ci furent augmentées jusqu'à 20° ou 30° de chaque côté du méridien magnétique.

(110) On joignit les extrémités de la plaque de métal avec les fils du galvanomètre, et on les passa entre les pôles magnétiques d'un bout à l'autre (comme dans la fig. 23) dans l'une et dans l'autre direction : il n'en résulta par le moindre effet sur le galvanomètre. Mais au moment où le mouvement devint transversal, l'aiguille subit une déviation.

(111) Ces effets furent aussi obtenus par les pôles électro-magnétiques, moyennant des hélices ou spirales de cuivre, vides ou intérieurement armées de fer (34, 54). Les directions des mouvemens étaient précisément les mêmes ; mais l'action était beaucoup plus forte par l'usage des hélices armées de fer que des hélices vides.

(112) Lorsqu'on fit mouvoir une spirale plane entre les pôles, il en résulta un effet curieux sur le galvanomètre : d'abord l'aiguille marcha fortement d'un côté, puis elle s'arrêta tout-à-coup, comme si elle eût frappé contre quelque obstacle solide, ensuite elle recula. Soit qu'on introduisit la spirale de haut en bas ou de bas en haut, le mouvement de l'aiguille suivait toujours la même direction ; il s'arrêtait soudainement, et après il rétrogradait. Mais en faisant faire un demi-tour à la spirale, les mouvemens eurent lieu dans un sens contraire : il y eut encore interruption soudaine, et ensuite rétrogradation comme auparavant. Cette double action dérive de ce que les deux moitiés de la spirale (partagée par une ligne traversant son centre, perpendiculairement à la direction de son mouvement) exercent leur action dans des di-

rections opposées ; et la raison pour laquelle l'aiguille marchait du même côté, soit qu'on approchât la spirale des pôles dans une direction ou dans l'autre, est que lorsqu'on changeait le mouvement, la direction des fils dans la moitié de la spirale qui approchait du pôle changeait aussi. Ces curieux effets se rapportent immédiatement à l'action des simples fils (40, 109).

(113) Quoique les expériences sur le disque rotateur, les fils et les plaques de métal eussent d'abord été faites avec succès au moyen du grand aimant appartenant à la Société royale, elles furent toutes répétées avec un couple de barres aimantées de deux pieds de longueur, d'un pouce et demi de largeur, et d'un demi-pouce d'épaisseur ; et en rendant le galvanomètre (87) un peu plus délicat, on obtint les résultats les plus frappants. Les *ferro-électro-aimans*, tels que ceux de MM. Moll, Henry, etc. (57), sont très-puissans. Il est essentiel, en faisant des expériences sur différentes substances, que les effets thermo-électriques (produits par le contact des doigts, etc.) soient évités ou appréciés et dé mêlés à la fin : on les distingue facilement à leur permanence et à leur indépendance des aimans.

(114) La relation qui existe entre le pôle magnétique, le fil ou métal mobile, et la direction du courant développé, c'est-à-dire la loi qui gouverne le développement de l'électricité par l'induction magnéto-électrique, est très simple, quoique assez difficile à exprimer. Si, dans la 24^e fig., PN représente un fil horizontal qui passé par un pôle magnétique *marqué*, de sorte que la direction de son mouvement coïncide avec la ligne courbe allant de bas en haut ; ou si son mouvement parallèle à lui-

même a lieu suivant une ligne tangentielle à la ligne courbe, mais dans la direction générale des flèches; ou si un tel fil passe par le pôle en d'autres directions, mais de manière à couper les courbes magnétiques (1) dans la même direction générale, ou du même côté où elles seraient coupées par le fil s'il se mouvait le long de la ligne courbe ponctuée : dans tous ces cas le courant de l'électricité dans le fil marchera de N à P. Si le fil se trouve dans la position verticale figurée par P' N', et qu'il soit conduit en pareilles directions, coïncidant avec la ligne courbe horizontale ponctuée, de manière à couper les courbes magnétiques qui sont du même côté, le courant marchera de P' à N'. Si on considère le fil comme une tangente à la surface courbe de l'aimant cylindrique, et qu'il soit roulé autour d'une telle surface en quelque autre position, ou si l'on tourne l'aimant même sur son axe de manière à le réduire à une position opposée au fil tangent en mouvant ensuite le fil dans des directions indiquées, le courant marchera encore de P à N; ou de N à P si le fil est mu dans une direction opposée; tellement que, pour ce qui regarde les mouvemens du fil au-delà du pôle, on peut les réduire à deux, l'un directement opposé à l'autre, dont l'un produit un courant de P à N, et l'autre un courant de N à P.

(1) J'appelle courbes magnétiques les lignes des forces magnétiques (de quelque manière qu'elles soient modifiées par la juxtaposition des pôles) qui seraient tracées par la limaille de fer, ou les lignes auxquelles une aiguille magnétique très-mince se dirigerait tangentiellement.

(115) Il en arrive de même du pôle *non marqué* de l'aimant , excepté que s'il est substitué à l'autre qui se trouve dans la figure , alors , si les fils sont mus dans la direction des flèches , le courant électrique marchera de N à P, et s'ils le sont dans une direction contraire , le courant marchera de P à N.

(116) Il résulte de là que le courant électrique qui est excité dans un métal mis en mouvement auprès d'un aimant , dépend entièrement , quant à sa direction , des rapports de position du métal avec la résultante de l'action magnétique , ou avec les courbes magnétiques ; ce qu'on peut exprimer ainsi d'une manière très-simple : soit AB (fig. 25) un cylindre magnétique ayant le pôle *marqué* en A, le pôle *non marqué* en B ; et soit PN une lame de couteau d'argent placée en travers de l'aimant, le tranchant en haut , et le bord marqué ou entaillé tourné vers le pôle A ; en quelque direction ou position que le couteau soit mu, le tranchant en avant, tant vers le pôle *marqué* que vers le pôle *non marqué*, le courant électrique qui en résultera marchera de P à N, pourvu que les courbes qui procèdent de A rencontrent la surface entaillée du couteau, et que celles qui partent de B, rencontrent le côté non entaillé. Ou si le couteau est mu avec le dos en avant, le courant marchera de N à P dans toutes les positions et directions possibles, pourvu que les courbes rencontrées le soient par les mêmes surfaces qu'auparavant. Il est aisé de construire un petit modèle en se servant d'un cylindre de bois pour aimant, d'une pièce plate au lieu de la lame, et d'un morceau de fil joignant les deux bouts du cylindre et passant par un trou dans la lame, au lieu des courbes magnétiques. De

cette manière on a sous les yeux le résultat de toutes les directions de mouvement possibles.

(117) Lorsque le fil soumis à l'induction passe par un pôle électro-magnétique, comme, par exemple, le bout d'une hélice de cuivre traversée par un courant électrique (34), la direction du courant dans le fil approchant est la même que celle du courant dans les parties ou côtés des spires qui l'approchent le plus, et en éloignant le fil, elle est opposée à celle des parties le plus près de lui.

(118) Tous ces résultats font voir que l'induction des courans électriques est excitée circulairement par une résultante magnétique ou *axe de puissance*, tout de même que le magnétisme circulaire dépend d'un courant électrique et est représenté par lui.

(119) Les expériences dont nous venons de faire la description concourent à prouver que quand on fait passer une pièce de métal (et il peut en être de même de toute matière conductrice) soit devant un simple pôle, soit entre les pôles opposés d'un aimant, ou près des pôles électro-magnétiques, ferrugineux ou non, il en résulte des courans électriques à travers le métal, transversalement à la direction du mouvement, et qui par conséquent, dans les expériences de M. Arago, approchent de la direction des rayons. Si on fait mouvoir un simple fil, comme le rayon d'une roue, près d'un pôle magnétique, il en résulte dans le fil un courant électrique allant d'un bout à l'autre. Si l'on se figure une roue formée d'une quantité de ces mêmes rayons, et tournant près du pôle, de la même manière que le disque de cuivre (85), il y aura un courant développé dans chaque

rayon au moment qu'il passe par le pôle. Si l'on suppose que les rayons soient latéralement en contact, il en résultera un disque métallique dans lequel les directions des courans seront généralement les mêmes, n'étant modifiées que par la réaction qui peut exister entre les molécules, dès qu'elles se trouvent en contact métallique.

(120) Maintenant que l'on connaît l'existence de pareils courans, on peut expliquer les phénomènes de M. Arago, sans les considérer comme dus à la formation, dans le cuivre, d'un pôle de nature opposée au pôle *approché*, et environné par une polarité de même nature (82); également il n'est pas essentiel que le plateau acquière ou perde la qualité dont il s'agit dans un temps fini; et d'un autre côté, il ne paraît pas nécessaire non plus d'admettre une force répulsive, comme cause de la rotation (82).

(121) L'effet en question est précisément de même nature que les rotations électro-magnétiques que j'ai eu le bonheur de découvrir il y a quelques années (1). Conformément aux expériences faites dans ce temps-là, et largement confirmées ensuite, si on attache un fil métallique (PN, fig. 26) aux extrémités (positive et négative) d'une pile voltaïque, tellement que l'électricité positive marche de P à N, et si on place un pôle *marqué* magnétique N près du fil, entre le fil et le spectateur, le pôle se mouvra dans une direction circulaire autour du fil, c'est-à-dire vers la droite, et le fil se mouvra circulairement vers la gauche, conformément aux directions des flèches.

(1) *Quarterly journal of Science*; vol. XII, p. 74, 186, 416, 283.

C'est exactement ce qui arrive dans la rotation d'un plateau sous un pôle magnétique. Soit N (27^e fig.) un pôle *marqué* au-dessus d'un plateau circulaire ; si on fait tourner ce dernier dans la direction de la flèche, il y aura immédiatement des courans d'électricité positive, allant des parties centrales dans la direction générale des rayons, par le pôle, aux points de la circonférence *a* de l'autre côté du même pôle (99, 119); ces courans se trouveront donc avec ce dernier dans le même rapport exactement que le courant dans le fil (PN, 26^e fig.), et le pôle se mouvra pareillement vers la droite.

(122) Si la rotation du disque est faite dans un sens contraire, il y a aussi renversement de direction dans la marche des courans électriques (91), et conséquemment le pôle se meut vers la gauche. Si on emploie le pôle *non marqué*, les effets sont les mêmes, c'est-à-dire dans la même direction, parce qu'il se produit des courans électriques contraires à ceux dont nous avons parlé, et en renversant les pôles et les courans, il n'y a aucune variation dans les effets visibles. En quelque position que l'on place l'axe magnétique, pourvu qu'on applique le même pôle au même côté du plateau, le courant électrique qui se développe suit la même direction, conformément à la loi déjà établie (114, etc.); ainsi on peut expliquer chaque circonstance qui concerne la direction du mouvement.

(123) Ces courans sont *déchargés* ou reviennent de chaque côté dans les parties du plateau les plus éloignées de la place du pôle et où l'induction magnétique est naturellement le plus faible. Et lorsqu'on applique les collecteurs et qu'on dirige ainsi sur le galvanomètre un

courant électrique, la déviation qu'on y remarque n'est qu'une répétition (produite par le courant même ou par une portion de ce courant) de l'effet immédiat de la rotation de l'aimant sur le plateau.

(124) C'est précisément sous ce point de vue que j'ai hasardé de dire qu'il n'est pas nécessaire que le plateau acquière ou perde son état dans un temps fini (120); car s'il était possible que le courant se trouvât dans son entier développement un moment *avant* qu'il ne soit arrivé à l'état de sa plus grande proximité du pôle vertical de l'aimant, le mouvement relatif du pôle et du plateau serait encore le même au lieu d'être entièrement opposé, puisque la force qui en résulterait serait tangentielle et non directe.

(125) Mais il est possible (quoique cela ne soit pas nécessaire pour la rotation) que le développement du courant à son maximum dans le plateau exige quelque temps; et dans ce cas le résultat de toutes les forces serait en avant de l'aimant (si c'est le plateau qu'on met en rotation), ou en arrière de l'aimant (si c'est ce dernier qu'on fait tourner), et plusieurs des effets des pôles électro-magnétiques tendent à prouver que la chose est ainsi. La force tangentielle peut donc être résolue en deux forces, l'une parallèle au plan de rotation, l'autre perpendiculaire au même plan. La première serait la force excitée en faisant tourner le plateau avec l'aimant, ou l'aimant avec le plateau; la seconde serait une force répulsive, et c'est probablement la force dont M. Arago a découvert les effets (82).

(126) La circonstance extraordinaire qui accompagne l'action en question et qui a semblé si inexplicable,

savoir, la cessation de tous les phénomènes lorsque l'aimant et le métal cessent de se mouvoir, reçoit maintenant une pleine explication (82), car les courans électriques qui causent le mouvement cessent alors tout-à-fait.

(127) Tous les effets de solution de continuité métallique, et la diminution de puissance qui en résulte, décrite par MM. Babbage et Herschel (1), reçoivent maintenant leur explication naturelle, aussi bien que le rétablissement de l'action primitive lorsque les entailles sont remplies de substances métalliques qui, quoique conductrices d'électricité, le sont elles-mêmes trop peu pour influencer les aimans. On peut même inventer de nouvelles manières d'entailler le plateau capables de détruire presque entièrement sa puissance. Ainsi, si on fend un plateau de cuivre (81) à une distance du bord égale à un cinquième ou un sixième environ de son diamètre, de manière à en isoler un anneau, et qu'on encastre ensuite cet anneau dans son entaille, n'y interposant qu'une épaisseur de papier (fig. 29); si on répète les expériences de M. Arago avec ce plateau composé, tellement arrangé que la section passe toujours vis-à-vis du pôle, il est évident que les courans magnétiques en seront considérablement interceptés, et le plateau perdra probablement beaucoup de son effet (2).

Un résultat simple de cette nature fut obtenu avec

(1) *Transactions philosophiques*, 1825, p. 481.

(2) Cette expérience a été faite récemment par M. Christie avec les résultats ici énoncés, et il en est fait mention dans les *Transactions philosophiques* de 1827, p. 82.

deux morceaux de cuivre épais , coupés comme dans la 28^e fig. On amalgame et on réunit les deux bords voisins , et on passa l'ensemble ainsi arrangé entre les pôles de l'aimant , dans une direction parallèle aux bords que nous venons de nommer ; un courant fut aussitôt excité dans les fils attachés aux angles extérieurs , et le galvanomètre se montra puissamment affecté ; mais on ne put apercevoir aucun effet lorsqu'on répéta l'expérience , après avoir opéré l'interposition d'une simple feuille de papier.

(128) Une telle section ne pourrait pas influencer sur l'induction du magnétisme, si on le suppose de la nature de celui qui est ordinairement reçu par le fer.

(129) Les effets de rotation ou déviation de l'aiguille que M. Arago obtenait par le moyen des aimans ordinaires , M. Ampère réussit à les obtenir par les électro-aimans, ce qui s'accorde parfaitement avec les résultats relatifs à l'induction volta-électrique et magnéto-électrique dont on a parlé dans cet écrit. Et en faisant usage de spirales plates de fil de cuivre , au lieu de pôles magnétiques ordinaires (111), dans lesquelles on faisait passer des courans électriques, et en en appliquant tantôt une à un côté du plateau rotateur, et tantôt deux à des côtés opposés, j'obtins du plateau même des courans d'électricité par influence, et je pus les diriger au galvanomètre et m'assurer ici de leur existence.

(130) La cause qu'on vient d'assigner pour la rotation dans les expériences de M. Arago, savoir, la production de courans électriques, paraît être plus que suffisante dans tous les cas où des métaux , ou même peut-être d'autres conducteurs , sont employés ; mais quant à des

corps tels que le verre , des résines et principalement des gaz , il semble qu'il ne puisse pas se produire en eux de courans capables de produire les effets dont il est question. Cependant M. Arago a trouvé que ces effets étaient produits par les corps que nous venons de nommer et par tous les corps observés (81) ; mais il est certain que MM. Babbage et Herschel ne les ont remarqués dans aucune substance non métallique, excepté dans le charbon, doué d'un fort pouvoir conducteur (82). M. Harris s'est assuré de leur présence dans le bois, le marbre, la pierre de taille et le verre recouvert d'un vernis ; mais il n'obtint aucun résultat ni avec l'acide sulfurique , ni avec la solution de sulfate de fer, quoique ces substances soient conductrices de l'électricité bien plus que les premières.

(131) Des recherches futures serviront sans doute à résoudre ces difficultés , et démontreront si la force retardatrice ou accélératrice, dont nous avons déjà parlé, est toujours accompagnée de courans électriques (1). L'existence de l'action dans les métaux, seulement lorsque les courans existent, c'est-à-dire pendant qu'il y a mouvement (82, 88), et l'explication de l'action répulsive observée par M. Arago (82, 125), sont

(1) Des expériences que j'ai faites depuis m'ont persuadé que cette action particulière est toujours due aux courans électriques qui se forment ; il en résulte un caractère par lequel on peut distinguer cette action de l'action du magnétisme ordinaire ou de toute autre cause, en y comprenant les causes mécaniques ou irrégulières qui produisent de semblables effets.

de fortes raisons pour la rapporter à cette cause ; mais elle peut être combinée avec d'autres causes qui , dans quelques circonstances , agissent isolément.

(132) Le cuivre, le fer, l'étain, le zinc, le mercure et tous les métaux observés, produisent des courans électriques, lorsqu'ils passent entre les pôles magnétiques : le mercure fut mis dans un tube de verre pour faire l'expérience. Ce charbon dense qui se dépose dans la production du gaz , produit aussi le courant , mais le charbon de bois ordinaire ne le produit pas ; enfin je n'ai jamais pu obtenir aucun effet sensible avec l'eau salée, l'acide sulfurique , les solutions salines, etc., soit en les faisant tourner dans des bassins, soit en les mettant dans des tubes , et en les faisant passer entre les pôles.

(133) Je n'ai jamais pu produire aucune sensation sur la langue par les fils métalliques, mis en contact avec les conducteurs, appliqués aux bords du plateau tournant (88), ou à la plaque métallique (101), et je n'ai pas pu rongir un fil très-mince de platine, ni produire une étincelle, ni exciter des convulsions dans une grenouille : je n'ai pas réussi non plus à produire aucun effet chimique par l'électricité dégagée de cette manière (22, 56).

(134) Comme le courant électrique dans le plateau tournant de cuivre n'occupe qu'un petit espace, partant des points voisins des pôles, et se déchargeant à droite et à gauche, comparativement à une fort petite distance ; comme ce courant existe dans une assez grande masse d'un métal, qui possède presque le plus grand pouvoir conducteur de tous, et qui par conséquent offre une facilité extrême à sa formation et à sa cessation, et comme

d'ailleurs il se forme des courans considérables qui passent à travers des fils de métal très-minces qui ont quarante, cinquante, soixante et jusqu'à cent pieds de long, il est évident que le courant qui existe dans le plateau lui-même est très-fort lorsque la rotation est rapide, et l'aimant assez puissant. Cela est aussi prouvé par la facilité avec laquelle un aimant de dix à douze livres de poids suit la rotation du plateau, et fait éprouver une forte torsion à la corde par laquelle il est suspendu.

(135) On fit encore deux autres expériences grossières dans le but de construire des machines *magnéto-électriques* ; dans l'une un anneau large d'un pouce et demi, et ayant douze pouces de diamètre extérieur, taillé dans une lame de cuivre assez épaisse, fut disposé de manière à pouvoir tourner entre les pôles de l'aimant, et à pouvoir représenter un plateau semblable à ceux dont nous sommes déjà servis (101), mais de longueur indéfinie; les bords intérieurs et extérieurs furent amalgamés, et les conducteurs appliqués à chaque bord à la place des pôles magnétiques. Le courant d'électricité produite ne se montra pas au galvanomètre plus fort (si même il fut aussi fort) que celui produit par le plateau circulaire (88).

(136) Dans la seconde expérience on prit de petits disques de cuivre ou d'autre métal (assez épais) d'un demi-pouce de diamètre, et on les fit tourner rapidement près des pôles, mais autour d'un axe de rotation différent de l'axe polaire; l'électricité développée fut recueillie par les conducteurs appliqués comme auparavant aux bords (86). Il se forma des courans, mais d'une force bien moindre que ceux produits par le plateau circulaire.

(137) La dernière expérience est analogue à celle de

M. Barlow sur la rotation du fer soumis à l'influence de la terre (1). Les effets que ce physicien a obtenus ont été rapportés par MM. Babbage et Herschel à la même cause que celle qui est considérée comme la cause principale dans l'expérience de M. Arago (2) ; mais il serait intéressant de voir quelle partie de la déviation de l'aiguille est due à l'action du courant électrique développé pendant l'observation. Le seul mouvement alternatif d'un fil de cuivre, six ou sept fois près des pôles de l'aimant, en suivant les vibrations de l'aiguille du galvanomètre, est capable de faire osciller l'aiguille dans un arc de 60 à 70°. La rotation du fer pourrait peut-être décider la question, et servirait aussi à éclairer la théorie des effets analogues, quoique plus durables, obtenus par M. Christie.

(138) La remarque qui a été déjà faite relativement au fer (66), et à l'indépendance des phénomènes magnétiques ordinaires de cette substance, avec les phénomènes que nous venons de décrire de l'induction *magnéto-électrique* dans ce métal et dans d'autres, a été pleinement confirmée par un grand nombre de résultats de l'espèce de ceux qui viennent d'être détaillés dans cette section. Lorsqu'un plateau de fer, semblable à celui de cuivre décrit au commencement (101), passait entre les pôles magnétiques, il donnait un courant d'électricité semblable à celui qui est produit par le disque de cuivre, mais évidemment moins intense ; et dans les expériences sur l'induction des courans électri-

(1) *Transactions philosophiques*, 1825, p. 317.

(2) *Ibid.*, 1825, p. 485.

ques on (9) ne put reconnaître aucune différence dans le mode d'action entre le fer et les autres métaux. Cependant le pouvoir qu'a un plateau de fer d'entraîner un aimant avec soi, ou d'intercepter l'action magnétique, doit être soigneusement distingué du pouvoir semblable dont jouissent d'autres métaux, comme l'argent, le cuivre, etc., etc., d'autant plus que dans le fer la plus grande partie de l'effet est due à ce qu'on peut appeler l'action magnétique ordinaire. Il ne saurait y avoir de doute : l'explication donnée par MM. Babbage et Herschel des phénomènes de M. Arago est vraie lorsqu'il s'agit du fer.

(139) La faible action que ces physiciens ont reconnue dans le bismuth et l'antimoine en mouvement pour affecter l'aimant suspendu, et qui a été confirmée par M. Harris, ne semble pas d'abord proportionnée à leurs pouvoirs conductifs. Cette question doit être décidée par de nouvelles expériences (1). Ces métaux sont fortement cristallisés et probablement jouissent de différens pouvoirs conducteurs de l'électricité dans différentes directions. Il arrive un effet presque semblable (127) lorsqu'on forme une masse de cristaux hétérogènes, car les courans électriques peuvent prendre une brusque inflexion aux limites des cristaux, et s'anéantir ainsi complètement dans la masse.

Institution royale, novembre 1831.

(1) J'ai pu depuis expliquer ces différences et prouver, avec plusieurs métaux, que l'effet est proportionnel au pouvoir conducteur; car j'ai pu obtenir, par l'induction magnéto-électrique, des courans d'électricité dont la force est proportionnelle au pouvoir conducteur des corps observés (211).

Nota. Par suite du long espace de temps qui s'est écoulé entre la lecture et l'impression de ce Mémoire, le contenu en a été connu du public, et (par une de mes lettres à M. Hachette) on en a eu connaissance en France et en Italie. Cette lettre fut traduite et lue à l'Académie des sciences de Paris le 26 décembre 1831. Une copie de cette lettre fut imprimée dans le *Temps* du 28 décembre, et parvint rapidement à M. Nobili qui, avec M. Antinori, fit immédiatement des expériences sur ce sujet, et obtint plusieurs des résultats mentionnés dans ma lettre; quant aux autres, ces physiciens ne purent les obtenir, ou peut-être ils ne les comprirent pas, à cause de la brièveté de mon exposé. MM. Nobili et Antinori ont réuni leurs résultats dans un écrit daté du 31 janvier 1832, et publié dans un numéro de l'*Antologia* daté de novembre 1831 (au moins selon l'exemplaire de cet écrit que M. Nobili a eu l'obligeance de m'adresser). Il est évident que cet écrit n'a pas été imprimé en novembre; et quoique M. Nobili ait inséré ma lettre dans son mémoire, comme l'origine de ses expériences, cependant la circonstance de cette seconde date a porté des personnes qui ont entendu parler du Mémoire de M. Nobili, sans le voir, à imaginer que son travail avait précédé le mien, au lieu de lui être postérieur, comme il l'est par le fait.

Dans ces circonstances je me crois autorisé à observer que j'ai fait des expériences sur ce sujet depuis plusieurs années, et que j'en ai publié les résultats (voyez *Quarterly journal of Science*, juillet 1825, p. 338). Voici un extrait de mon *livre de notes*, daté du 28 novembre 1825 : « Expériences sur l'induction en joignant les fils d'une batterie galvanique; — batterie de quatre auge,

RECHERCHES *expérimentales sur l'Electricité.*
Seconde série.

PAR MICHEL FARADAY, F. R. S., M. R. I.

Correspondant de l'Académie des Sciences de Paris, etc., etc.

(Lu à la Société royale le 12 janvier 1832.)

§ V. *Induction magnéto-électrique terrestre.*

§ VI. *Force et direction de l'induction magnéto-électrique en général.*

§ V. *Induction magnéto-électrique terrestre.*

(140) Lorsqu'on découvrit les faits généraux décrits dans le mémoire précédent, et les lois de l'induction magnéto-électrique relatives à la direction (114), il ne fut pas difficile de voir que la terre devait produire le même effet qu'un aimant; et cela à un degré tel que l'on pût s'en servir avec avantage dans la construction de nouvelles machines électriques. Voici quelques uns des résultats obtenus en suivant cette idée.

(141) On mit en communication avec le galvanomètre l'hélice creuse déjà décrite (6), par des fils de métal de huit pieds de long; et après avoir chauffé au rouge le cylindre de fer doux (34), et l'avoir laissé refroidir lentement pour détruire la moindre trace de magnétisme, on le mit dans l'hélice, et on l'y fixa de manière à ce que les deux bouts sortissent également des deux côtés. L'hélice et le cylindre furent placés dans la direction

de l'inclinaison magnétique, et (l'aiguille du galvanomètre restant immobile) on renversa l'appareil bout pour bout de manière à ce qu'il restât toujours dans le plan du méridien : l'aiguille dévia tout de suite. Comme elle reprenait sa position primitive, on renversa de nouveau l'appareil, et en répétant cette opération deux ou trois fois, de manière à faire coïncider les inversions avec les oscillations, l'aiguille oscilla dans un arc de 150° à 160° .

(142) Si une extrémité de l'hélice, que nous appellerons A, est en haut, et l'autre extrémité B en bas, il est indifférent dans quel sens (à droite ou à gauche) on fait l'inversion, l'aiguille du galvanomètre dévie toujours du même côté. De même, lorsque l'extrémité B est en haut, l'inversion de la barre et de l'hélice dans un sens quelconque, produit une même déviation de l'aiguille, cette déviation ayant lieu dans un sens opposé à celui qui avait lieu dans le premier cas.

(143) Lorsque l'hélice dans une position donnée est retournée, l'effet est le même que si on avait introduit par en haut, dans la spirale renversée, un aimant ayant son pôle marqué en bas. Alors, si l'extrémité B est en haut, un tel aimant introduit par en haut ferait dévier l'extrémité marquée de l'aiguille du galvanomètre vers l'ouest. L'extrémité A étant en haut et le fer doux dans l'hélice, l'inversion de tout ce système produirait le même effet.

(144) Lorsque la barre de fer doux était retirée de la spirale et renversée dans différentes directions à moins de quatre pieds de distance du galvanomètre, on ne produisait aucun effet.

(145) Ces phénomènes sont la conséquence nécessaire du pouvoir inductif magnétique de la terre, qui rend le cylindre de fer doux un aimant avec son pôle marqué en bas. Cette expérience est analogue à celle dans laquelle deux barres magnétiques servirent à aimanter le même cylindre dans la même hélice (36), et l'inversion de position dans cette expérience est équivalente au chargement des pôles dans cette disposition. Mais ce résultat n'en est pas moins l'effet du développement de l'électricité par le moyen du magnétisme du globe.

(146) En fixant l'hélice seule dans l'inclinaison magnétique, lorsqu'on y introduisit le cylindre de fer doux, l'aiguille du galvanomètre dévia à l'instant. En retirant le cylindre lorsque l'aiguille reprenait sa position primitive, et continuant les deux actions simultanément, les oscillations arrivèrent jusqu'à 180° . L'effet était précisément le même qu'en faisant usage d'un cylindre magnétique avec le pôle marqué en bas. La direction du mouvement et les autres circonstances étaient les mêmes que lorsqu'on se servait d'un tel aimant (39). On fit usage dans cette position d'un aimant, et il donna les mêmes déviations, mais plus fortes. Lorsque l'hélice était placée à angle droit avec la ligne d'inclinaison magnétique, on n'obtint aucun effet sur l'aiguille par l'introduction du cylindre de fer doux. En choisissant des positions intermédiaires, on obtint des effets analogues qui allaient en augmentant à mesure que l'axe de l'hélice se rapprochait de la résultante magnétique du globe.

(147) Quoique l'aimant cylindrique agisse puissamment sur le galvanomètre, lorsqu'on l'introduit ou qu'on le retire de la spirale, il n'a pas le pouvoir de rendre

durable la déviation (39); et en le laissant dans la spirale, l'aiguille du galvanomètre reprend sa position d'équilibre. Mais en répétant l'expérience de l'inversion dans la ligne d'inclinaison magnétique (141), l'aiguille dévia aussi fortement que d'abord. L'altération du magnétisme dans l'acier aimanté, par l'action inductive de la terre, fut trouvée ainsi presque égale sinon tout-à-fait égale, en quantité et vitesse, à celle qui a lieu dans le fer doux. Il est probable que de cette manière les appareils magnéto-électriques pourraient devenir fort utiles pour indiquer l'altération des forces magnétiques, lorsqu'on ne saurait se servir d'autres moyens; car ce n'est pas toute l'action magnétique qui produit l'effet *visible*, mais seulement la différence due aux causes perturbatrices.

(148) Ces résultats favorables me firent espérer qu'on pouvait rendre sensible directement l'induction magnéto-électrique de la terre, et je suis parvenu dernièrement à obtenir cet effet de plusieurs manières. En plaçant l'hélice déjà décrite (141, 6) dans la ligne d'inclinaison magnétique, mais sans aucun cylindre de fer ou d'acier, on obtint par l'inversion une faible action sur l'aiguille. En renversant l'hélice dix ou douze fois, de manière que les forces développées par les courans électriques agissent toujours dans le sens où se meut l'aiguille (39), celle-ci fit des oscillations de 80° à 90° d'amplitude. Dans ce cas les courans électriques étaient produits par le pouvoir inductif direct du magnétisme terrestre, sans l'intermédiaire d'aucune matière ferrugineuse, et avec un métal incapable de produire aucun des phénomènes du magnétisme ordinaire. Cette expérience

représente en tout les effets produits en approchant la même hélice des pôles d'un fort aimant (50).

(149) Guidé par la loi précédemment exprimée (114), je pensai que tous les phénomènes électriques du plateau tournant se reproduiraient maintenant sans autre aimant que la terre. Le disque si souvent mentionné (85) fut fixé de manière à tourner dans un plan horizontal. Les courbes magnétiques de la terre (114 *note*), c'est-à-dire la direction de l'inclinaison magnétique, coupaient ce plan sous un angle à peu près de 70° , qui fut jugé assez près d'un angle droit pour causer une induction *magnéto-électrique* assez forte pour produire un courant d'électricité.

(150) Dans la rotation du plateau, les courants, d'après la loi donnée (114, 121), tendaient à passer dans la direction du rayon, dans *toutes* les parties du plateau, soit du centre à la circonférence, soit de la circonférence au centre, selon que la rotation s'effectuait dans un sens ou dans l'autre. L'un des fils du galvanomètre fut mis en contact de l'axe du plateau, et l'autre attaché à un conducteur (86) qui était placé lui-même contre le bord amalgamé du disque. En faisant tourner le plateau on obtint un effet sensible sur l'aiguille du galvanomètre ; en renversant la rotation, l'aiguille marcha dans une direction opposée ; et en faisant coïncider l'action du plateau avec les vibrations de l'aiguille, l'amplitude des oscillations arriva bientôt à un quart de cercle.

(152) Lorsque le plateau tourne à la *manière d'une vis* (*screw-fashion*), le courant électrique marche du centre à la circonférence (150) ; lorsque la rotation se fait dans le sens opposé, le courant marche de la cir-

conférence au centre. Ces directions sont les mêmes que lorsqu'on place le pôle non marqué d'un aimant au-dessous d'un plateau tournant (99).

(153) Lorsque le plateau était dans le méridien magnétique, la rotation ne produisait aucun effet sur le galvanomètre. Lorsqu'il était dans un plan incliné de quelques degrés à celui du méridien magnétique, on commençait à voir de l'électricité par la rotation. Lorsqu'il était dans un plan vertical perpendiculaire à celui du méridien magnétique, la rotation développait de l'électricité, et cette électricité allait en augmentant avec l'angle d'inclinaison jusqu'à 90° , où l'effet était un *maximum*.

(154) Il est extraordinaire d'observer le plateau tournant transformé en une machine électrique; et on obtient de curieux résultats en le comparant avec la machine ordinaire. Dans l'une, le disque est formé de la meilleure substance non conductrice qu'on puisse trouver; dans l'autre, c'est le plus parfait conducteur. Dans l'une, l'isolement est nécessaire; dans l'autre, il est fatal. Par rapport à la quantité d'électricité produite, la machine de métal ne cède en rien à celle de verre; car la première produit un courant constant capable de faire dévier l'aiguille du galvanomètre, tandis que la seconde ne le produit pas. Il est vrai que la force de ce courant n'a pas pu être augmentée de manière à la rendre sensible dans l'une des applications ordinaires de cette force; mais il y a lieu d'espérer qu'on pourra y parvenir bientôt, et probablement de différentes manières. Quoique ce courant paraisse faible, il est aussi fort, s'il n'est pas plus fort, qu'aucun courant thermo-électrique; car il peut traverser

ser les fluides (23), agiter le système animal; et dans le cas d'un *électro-aimant*, il a produit des étincelles (32).

(155) On amalgame sur les bords un disque de cuivre d'un cinquième de pouce d'épaisseur et d'un pouce et demi de diamètre, et on le plaça dans un carré de plomb (le cuivre aurait été meilleur) de la même épaisseur, ayant un trou circulaire au milieu. Un peu de mercure complétait le contact métallique entre le disque et l'anneau environnant. A celui-ci était attaché un des fils du galvanomètre, l'autre fil plongeait dans un petit vase métallique contenant du mercure, fixé sur le sommet de l'axe de cuivre du petit disque. En faisant tourner le disque dans un plan horizontal, l'aiguille du galvanomètre fut affectée, quoique la terre fût le seul aimant employé, et que le rayon du disque n'eût que trois quarts de pouce, dans lequel espace seulement le courant était excité.

(156) En plaçant le pôle d'un aimant sous le plateau tournant, l'aiguille du galvanomètre était déviée d'une manière permanente.

(157) On obtint des effets beaucoup plus forts avec des fils de cuivre d'un pouce d'épaisseur, au lieu des fils plus minces employés précédemment (86). Peut-être si le galvanomètre eût été formé d'un petit nombre de tours de gros fil métallique, au lieu d'en contenir un grand nombre de fil mince, on aurait obtenu des effets encore plus extraordinaires.

(158) Une forme d'appareil que je me propose de construire, c'est d'avoir plusieurs disques superposés et de les joindre *métalliquement* alternativement aux bords et aux centres par le mercure. On doit alors les faire

tourner dans des directions opposées, c'est-à-dire le premier, le troisième, le cinquième, etc., vers la droite, et le second, le quatrième, le sixième, etc., vers la gauche. Ils doivent être placés de manière à être perpendiculaires à l'inclinaison magnétique. L'électricité marchera du centre à la circonférence dans une série de disques, et de la circonférence au centre dans l'autre série. De cette manière l'action combinée de l'ensemble formera un courant plus puissant. ●

(159) Mais j'ai été plus avide de découvrir de nouveaux faits dans l'induction électro-magnétique que de renforcer l'action de ceux déjà découverts, persuadé qu'ils trouveront bientôt leur entier développement.

(160) Dans mon premier écrit, j'ai rapporté à l'influence probable de l'induction magnéto-électrique terrestre (137) la production d'une partie au moins des phénomènes observés par MM. Christie et Barlow (1) dans la rotation des corps ferrugineux, et spécialement ceux observés par ce dernier dans la rotation rapide d'un globe de fer, et qu'il avait attribués à un changement dans les dispositions ordinaires du magnétisme de ce globe. J'ai dit aussi que la rotation d'un globe de cuivre isolerait probablement les effets dus aux courans électriques de ceux qui dérivent seulement d'un changement de magnétisme, et servirait à faire connaître la nature de ces phénomènes.

(161) En considérant la loi déjà établie (114), il paraît impossible qu'un globe de métal puisse tourner,

(1) Christie, *Philosoph. trans.*, 1825, p. 28, 347, etc. Barlow, *Philosoph. trans.*, 1825, p. 317.

dans les circonstances ordinaires , sans produire des courans électriques dans son intérieur qui circulent dans le globe en rotation dans un plan perpendiculaire au plan de révolution , pourvu que l'axe de rotation ne coïncide pas avec la direction de l'inclinaison magnétique ; il semble que le courant serait le plus intense si l'axe de rotation était perpendiculaire à cette direction ; car alors toutes les parties du globe situées au-dessous d'un plan qui passe par le centre , et l'axe de rotation , couperaient (dans leur mouvement) les courbes magnétiques dans une direction , pendant que toutes les parties situées au-dessus de ce plan les couperaient dans la direction opposée. Il existerait ainsi dans ces parties en mouvement des courans qui iraient d'un pôle de rotation à l'autre ; mais les courans supérieurs marcheraient en sens inverse des courans inférieurs, et dans leur rencontre formeraient une circulation continue d'électricité.

(162) Comme les courans électriques ne sont interrompus nulle part dans le globe, on pouvait attendre des effets très-marqués , et je tâchai de les obtenir avec un simple appareil. Le globe dont je me servis était de cuivre ; il avait appartenu à une ancienne machine électrique ; il était vide, de peu , de trop peu d'épaisseur, et avait quatre pouces de diamètre. Une tige de cuivre était fixée dans le globe et lui servait d'axe de rotation : on n'obtint jamais aucun signe de magnétisme lorsque le globe était en repos.

(163) On fit usage d'une aiguille magnétique composée pour découvrir les courans. Elle était disposée de la manière suivante : on ôta la tête et la pointe d'une aiguille à coudre, et on la magnétisa ; puis on la coupa en

deux , et les deux aimans formés de cette manière furent fixés dans une tige d'herbe sèche , de manière à lui être perpendiculaires , à la distance de presque quatre pouces. Ils étaient tous les deux dans un même plan , mais leurs pôles semblables étaient dans des directions opposées. La tige était attachée à un fil de soie vierge de six pouces de long , et ce fil tenait à un petit bâton qui passait dans le bouchon d'une cloche cylindrique. Cet appareil était parfaitement à l'abri des mouvemens de l'air , et était peu influencé par le magnétisme terrestre , quoique fort sensible aux forces magnétiques et électriques , lorsqu'elles sont portées près de l'une ou de l'autre aiguille.

(164) En disposant les aiguilles dans le plan du méridien magnétique et en mettant le globe en dehors de la cloche de verre à l'ouest des aiguilles , de manière que le centre du globe fût dans le même plan horizontal que l'aiguille supérieure ; si on imprimait un mouvement de rotation au globe (en prenant pour axe de rotation une ligne contenue dans le plan du méridien magnétique , mais perpendiculaire à la direction que prend une aiguille magnétique suspendue librement) , l'aimant était affecté à l'instant. En renversant la direction de la rotation , l'aiguille fut affectée de nouveau , mais dans une direction opposée. Lorsque le globe tournait de l'est à l'ouest , le pôle marqué était porté vers l'est ; lorsque le globe tournait dans la direction opposée , le pôle marqué dévia à l'ouest , du côté du globe. En mettant le globe à l'est des aiguilles , l'aiguille était affectée de la même manière. Lorsque le globe tournait de l'est à l'ouest , le pôle marqué marchait à l'est , ou vers le globe. Lorsque

la rotation se faisait dans le sens opposé, le pôle marqué déviait à l'ouest.

(165) En tordant la soie des aiguilles, elles furent amenées dans une position perpendiculaire au plan du méridien magnétique; on fit tourner le globe autour d'un axe parallèle aux aiguilles : celles-ci furent affectées comme précédemment, et la déviation fut telle à montrer que dans ce cas-ci et dans le précédent l'aiguille était influencée seulement par les courans électriques qui existent dans le globe.

(166) Si on considère la partie supérieure du globe comme un fil de métal qui se meut de l'est à l'ouest au-dessus du pôle non marqué de la terre, le courant électrique de cette partie ira du nord au sud (99, 114, 150); et si on considère la partie inférieure comme un fil semblable, allant de l'ouest à l'est au-dessus du même pôle, le courant électrique marchera du sud au nord. La circulation continue de l'électricité se fera donc du nord au sud dans la partie supérieure d'un globe tournant à notre latitude. Or ces courans sont précisément ceux qu'il faut pour donner la direction à l'aiguille dans l'expérience déjà décrite, de manière que l'accord de la théorie avec l'expérience est le plus satisfaisant.

(167) En inclinant considérablement l'axe de rotation, le globe tournant affectait l'aiguille magnétique; les effets disparaissaient quand cet axe était peu distant de la ligne d'inclinaison magnétique. Alors il est évident que le globe devient analogue à un plateau de cuivre. L'électricité d'une espèce peut être recueillie à l'équateur, et celle de l'autre aux pôles.

(168) Un courant dans le globe, tel qu'il vient d'être

décrit (161), quoiqu'il fasse marcher une aiguille dans le même sens de quelque côté que le globe soit par rapport à elle, devait la faire marcher dans des directions opposées suivant qu'elle est au-dessus ou au-dessous du globe; car dans ce cas l'aiguille est affectée dans une direction contraire par le courant. On vérifia cela en faisant tourner le globe sous l'aiguille magnétique, qui restait enfermée dans la cloche. Lorsque le globe tournait de l'est à l'ouest, le pôle marqué de l'aiguille, au lieu de marcher vers l'est, alla vers l'ouest; et quand la rotation se faisait de l'ouest à l'est, le pôle marqué dévia vers l'est.

(169) Les déviations de l'aiguille obtenues par le globe de cuivre sont exactement dans la même direction que celles que M. Barlow a produites par la rotation du fer. Par la manière dont le fer montre les phénomènes de l'induction magnéto-électrique, comme les autres métaux, et séparément de ses phénomènes magnétiques ordinaires (132), il est certain que des courans électriques ont été formés, et deviennent actifs dans ces expériences. Pour connaître quelle est la partie de cet effet qui est due à cette cause, il est nécessaire de faire de plus mûres recherches sur tous ces phénomènes.

(170) Ces résultats, et la loi générale déjà énoncée, donnèrent l'idée d'une expérience d'une extrême simplicité, qui, à l'essai, réussit parfaitement. L'exclusion de toutes les circonstances étrangères et de toute complication dans l'appareil, et le caractère distinctif des indications fournies, rendent cette expérience un abrégé de presque tous les faits de l'induction magnéto-électrique.

(171) Un fil de cuivre ordinaire de 8 pieds de long et d'un vingtième de pouce d'épaisseur fut attaché par un

bout à une des extrémités du fil du galvanomètre, et par l'autre bout à l'autre extrémité. Ensuite on lui donna la forme d'un rectangle dont la partie supérieure pouvait être portée en avant et en arrière sur le galvanomètre, tandis que la partie inférieure et le galvanomètre qui lui était attaché restaient immobiles (fig. 30). En faisant passer ce fil sur le galvanomètre de droite à gauche, l'aiguille magnétique dévia immédiatement; et en faisant repasser le fil en sens inverse, l'aiguille marcha dans une direction contraire. En répétant ces mouvemens du fil d'accord avec les vibrations de l'aiguille (39), celle-ci oscilla bientôt dans un arc de 90° , et davantage.

(172) Le rapport entre le courant électrique produit dans le fil métallique et son mouvement peut être expliqué en supposant le fil arrangé comme un rectangle, avec son côté inférieur dans le plan du méridien magnétique, et une aiguille magnétique suspendue sur le milieu de ce côté et dirigée par la terre (fig. 30). En faisant passer la partie supérieure du rectangle de l'ouest à l'est dans la position représentée par la ligne ponctuée, le pôle marqué de l'aiguille magnétique dévia à l'ouest. Par conséquent le courant électrique marchait du nord au sud dans la partie du fil qui passait sous l'aiguille, et du sud au nord dans la partie supérieure (ou mobile) du parallélogramme. En faisant passer la partie supérieure du rectangle de l'est à l'ouest sur le galvanomètre, le pôle marqué de l'aiguille dévia à l'est; le courant électrique marchait donc à l'opposé du précédent.

(173) Lorsque le rectangle était disposé dans un plan allant de l'est à l'ouest, et que l'aiguille magnétique était amenée dans cette direction, soit par l'effet de la torsion, soit par l'action d'un aimant, les effets étaient

encore les mêmes. En faisant passer la partie supérieure du rectangle du nord au sud, le pôle marqué dévia au nord : il dévia au sud lorsque le fil passa dans la direction inverse. Le même effet arriva lorsque le mouvement du fil se fit dans un autre azimuth. La direction du courant suivit toujours la loi exprimée précédemment (114), et fut d'accord avec les directions obtenues au moyen du globe tournant (164).

(174) Dans ces expériences, il n'est pas nécessaire de changer de position le galvanomètre ou l'aiguille. Il suffit que le fil du rectangle soit tordu là où il quitte l'instrument, et plié de manière à laisser tourner dans la direction voulue la partie mobile supérieure.

(175) La partie mobile du fil fut ensuite placée sous le galvanomètre, mais de manière à couper comme précédemment la ligne d'inclinaison magnétique. Elle affecta l'aiguille dans la même direction : ainsi lorsqu'elle marcha de l'ouest à l'est sous l'instrument, l'extrémité marquée de l'aiguille dévia à l'ouest comme précédemment. Au reste, cela devait arriver ; car lorsque le fil coupe la ligne, qui représente la direction de l'aiguille d'inclinaison, dans une direction donnée, il s'y forme un courant électrique dans une direction également donnée.

(176) Soit, dans la figure 31, dp parallèle à la direction d'une aiguille d'inclinaison, et considérons BA comme la partie supérieure du rectangle (171), avec une flèche c attachée à BA , de manière que ces deux lignes soient dans un plan perpendiculaire à dp . Alors si BA , avec la flèche qui lui est attachée, se meut autour de dp comme sur un axe et si le mouvement se fait dans la direction de la flèche, il y aura un courant d'électricité qui marchera de B vers A .

(177) Si la partie mobile du fil est portée parallèlement à dp , il n'y a pas d'effet sur le galvanomètre. Si la direction du mouvement est un peu inclinée à dp , l'électricité se manifeste : elle parvient à son maximum lorsque le mouvement est perpendiculaire à la direction de la résultante magnétique.

(178) Lorsque le fil est plié en d'autres formes, on observe dans son mouvement des effets également prononcés. Par exemple lorsqu'au lieu d'un simple rectangle on forma un double anneau de chaîne d'un seul côté du galvanomètre, et que chacune des deux moitiés était mue dans des directions opposées en même temps; leur action combinée affectait alors le galvanomètre; mais tous les résultats étaient réductibles à ceux déjà décrits.

(179) L'effet produit sur le galvanomètre croît avec la longueur du fil mobile et avec l'espace qu'il parcourt.

(180) La facilité avec laquelle les courans électriques se forment dans les métaux, lorsqu'ils se meuvent sous l'influence des aimans, prouve que désormais il faudra prendre des précautions dans les expériences des métaux et des courans pour se garantir de ces effets. En considérant l'universalité de l'influence magnétique de la terre, c'est une conséquence qui paraît bien extraordinaire à l'esprit, qu'on ne puisse mouvoir un morceau de métal en contact avec d'autres, sans produire des courans électriques. Il est probable que dans la disposition des machines à vapeur avec leur mécanisme métallique, il se forme des combinaisons accidentelles magnéto-électriques, qui produisent des effets qui n'ont jamais été observés, ou qui au moins n'ont pas été compris jusqu'à présent.

(181) En considérant les effets de l'induction ma-

gnéto-électrique terrestre, on ne saurait s'empêcher de croire que de semblables effets, mais infiniment plus puissans, doivent être produits par l'action de l'aimant du globe sur sa propre masse, en conséquence de la rotation diurne. Il semble que si une barre de métal est placée, dans nos latitudes, à la surface de la terre parallèlement au méridien magnétique, un courant électrique tendra à passer par cette barre du sud au nord, en conséquence de son mouvement de l'ouest à l'est (172), par la rotation terrestre. Et si une autre barre dans la même direction est réunie à celle-ci par des fils métalliques, elle ne pourra pas donner passage à son courant, car elle a une égale tendance à produire un égal courant dans la même direction. Mais si cette dernière barre se mouvait de l'est à l'ouest, ce qui est équivalent à une diminution du mouvement qui lui serait communiqué par la terre (172), alors le courant électrique du sud au nord serait rendu sensible dans la première barre, puisqu'il se déchargerait en même temps par le moyen de la seconde.

(182) Dans la supposition que la rotation de la terre tend, par l'induction magnéto-électrique, à produire des courans dans sa propre masse, ces courans, d'après la loi établie (114) et d'après les expériences, seraient (au moins à la surface) dirigés des parties qui approchent le plan de l'équateur, en sens contraire, vers les pôles. Et si on pouvait appliquer des collecteurs à l'équateur et aux pôles de la terre, comme on l'a fait pour le plateau tournant (150) et avec des aimans (220), alors on trouverait de l'électricité négative à l'équateur, et de l'électricité positive aux deux pôles (222). Mais sans les conducteurs, ou quelque chose d'équivalent, il est évident

que ces courans ne pourront pas exister, puisqu'ils ne pourront pas se décharger.

(183) Je ne crois pas impossible qu'il existe quelque différence naturelle entre les corps, relativement à l'intensité du courant produit par l'induction magnéto-électrique : si elle existe, on devrait pouvoir la reconnaître en les opposant les uns aux autres. MM. Arago, Babbage, Herschell et Harris, ont tous trouvé de grandes différences, non-seulement entre les métaux et les autres corps, mais encore entre les métaux eux-mêmes, dans la faculté d'entraîner l'aiguille magnétique ou d'être entraînés par elle, dans les expériences de la rotation (130). Je pris deux fils métalliques, chacun de vingt pieds de long, un de fer et l'autre de cuivre. Ils étaient réunis aux extrémités, ne se touchant que là, et tendus dans la direction du méridien magnétique de manière à former deux lignes parallèles et fort rapprochées. Le fil de cuivre fut divisé au milieu et examiné avec un galvanomètre délicat ; mais on ne découvrit aucune trace de courant électrique.

(184) Par l'obligeance de son altesse royale le président de la Société royale, j'obtins la permission du roi de faire des expériences dans le lac du jardin du palais de Kensington, pour comparer l'eau et les métaux. Le bassin du lac est artificiel ; l'eau est fournie par la compagnie de Chelsea, et elle ne reçoit aucune source. Elle présente ce que je demandais, c'est-à-dire, une masse uniforme d'eau pure et tranquille, dont les bords sont dirigés presque du nord au sud, et de l'est à l'ouest.

(185) On souda aux extrémités d'un fil de cuivre deux plaques de cuivre bien polies, de quatre pieds de sur-

face ; puis on les plongeait dans l'eau (au nord et au sud l'une de l'autre), et on arrangeait le fil qui les unissait sur le gazon des bords. Les plaques étaient éloignées, en ligne droite, de 480 pieds, et le fil était probablement de 600 pieds. Le fil fut ensuite divisé au milieu, et mis en communication au moyen de deux coupes de mercure, avec un galvanomètre délicat.

(186) On obtint d'abord des indications de courans électriques ; mais lorsqu'elles furent examinées par l'inversion des contacts avec le galvanomètre et de diverses manières, on trouva qu'elles étaient dues à d'autres causes que celles cherchées. Une petite différence de température, une faible portion de nitrate du mercure, qui avait servi à amalgamer les fils métalliques étaient suffisantes pour produire des courans électriques qui affectaient le galvanomètre, nonobstant qu'ils eussent traversé presque 500 pieds d'eau. Lorsqu'on pouvait se garantir de ces causes et d'autres semblables, on n'obtenait aucun effet. Et il paraît que même des substances aussi différentes que l'eau et le cuivre, lorsqu'elles coupent les couches magnétiques avec une égale vitesse, neutralisent parfaitement leur action réciproque.

(187) M. Fox de Falmouth a obtenu, relativement à l'électricité des veines métalliques dans les mines de Cornouailles, des résultats importans qui ont été publiés dans les Transactions philosophiques (1). J'ai examiné cet écrit pour m'assurer si quelques-uns de ces effets étaient probablement dus à l'induction magnéto-électrique ; mais, quoique incapable de me former une opinion bien

(1) 1830, p. 399.

certaine, je crois que cela n'est pas. Lorsqu'on comparait les veines parallèles qui vont de l'est à l'ouest, la tendance générale de l'électricité dans les fils était du nord au sud. Lorsque la comparaison s'effectuait entre des parties situées à la surface et à une certaine profondeur, le courant électrique dans les fils marchait de haut en bas. S'il y avait quelque différence naturelle dans la force des courans produits par l'induction magnéto-électrique dans différentes substances, ou dans des substances diversement situées qui se meuvent avec la terre, et si cette différence pouvait être rendue évidente par l'augmentation des masses, alors les veines observées par M. Fox devaient, peut-être, agir comme pour décharger l'électricité des couches situées entre elles, et les directions des courans seraient celles que l'on a observées.

(188) Quoique l'électricité obtenue par l'induction magnéto-électrique dans un fil métallique de peu de longueur soit peu intense, et qu'elle n'ait été observée jusqu'à présent que dans les métaux, et dans le charbon dans un état particulier, cependant elle a la force de traverser l'eau salée (23); et comme l'augmentation de la longueur dans la substance soumise à l'induction produit une augmentation d'intensité, j'espérais obtenir des effets sensibles par une grande masse d'eau en mouvement, quoique l'eau tranquille n'en donne aucun. Je fis, en conséquence, des expériences au pont de Waterloo, en faisant passer sur le parapet du pont un fil de cuivre de 960 pieds de longueur, et faisant partir des extrémités de ce fil d'autres fils avec de grandes plaques de métal, plongées dans la rivière. Le fil et l'eau formaient un circuit conducteur, et comme l'eau montait et descendait

avec la marée, j'espérais obtenir des effets analogues à ceux du globe de cuivre (161).

(189) J'obtins constamment des déviations au galvanomètre; mais elles étaient fort irrégulières, et paraissaient dépendre d'autres causes que celles cherchées. La différente pureté de l'eau des deux côtés de la rivière, la différence de température, de légères différences dans les plateaux, dans la soudure, dans le contact opéré en tordant les fils ou autrement, produisent tous des effets. Et quoique j'observasse ensuite seulement sur l'eau qui passe sous les arches de milieu, que je fisse usage de plateaux de platine au lieu de cuivre, et que je prisse toutes les précautions imaginables, je ne pus pas, après trois jours, obtenir des résultats satisfaisants.

(190) En théorie, il semble que lorsque l'eau est en mouvement, il doive se former nécessairement des courans électriques. Maintenant si on imagine une ligne passant par mer de Douvres à Calais, et revenant par terre (sous la mer) de Calais à Douvres, elle forme un circuit de matière conductrice, dont une portion, lorsque l'eau monte ou descend dans le canal, coupe les courbes magnétiques de la terre, tandis que l'autre portion est relativement en repos. C'est une répétition de l'expérience du fil (171), mais avec de moins bons conducteurs. Il y a toute raison de croire que les courans électriques doivent suivre généralement la direction du circuit indiqué, dans un sens ou dans l'autre, selon que l'eau afflue ou reflue dans le canal. Lorsque l'extension latérale de l'eau en mouvement est énormément augmentée, il ne doit paraître improbable que l'effet puisse devenir sensible, et peut-être, le *gulf stream* (par les courans

électriques qui le traversent à cause de l'induction magnéto-électrique de la terre), exerce-t-il une influence appréciable sur la forme des lignes magnétiques dans son voisinage (1).

(191) Quoiqu'on n'ait pas encore obtenu des résultats bien constatés par l'action de la terre sur l'eau et les fluides aqueux, cependant comme ces expériences ont été fort limitées, et que ces fluides produisent les courans par des aimans artificiels (23) (car le transport du courant prouve qu'il peut être produit (213)), la supposition que la terre produit ce courant dans son sein (181) en conséquence de sa rotation diurne, est encore fort probable (222, 223); et en considérant que ces masses mobiles s'étendent des milliers de milles à travers les courbes magnétiques, et les coupent dans différentes directions, il est possible que l'électricité s'élève à une grande intensité.

(192) J'ose à peine hasarder, même dans la forme la plus hypothétique, de demander si l'aurore boréale et australe ne serait pas une décharge de l'électricité ainsi poussée vers les pôles de la terre, d'où elle s'efforce, par des moyens naturels et particuliers, de retourner au-dessus de la terre aux régions équatoriales. L'absence de ce phénomène dans les latitudes fort élevées n'est pas du tout contraire à une semblable supposition, et

(1) En théorie même, un vaisseau ou un bateau qui se meut à la surface de l'eau dans des latitudes septentrionales ou méridionales, doit contenir des courans qui marchent directement à angle droit de la ligne de son mouvement. De semblables courans doivent se former lorsque l'eau se meut autour d'un vaisseau à l'ancre.

ce qui est remarquable, c'est que M. Fox, qui a observé les déviations de l'aiguille aimantée à Falmouth pendant l'aurore boréale, indique un sens de mouvement de l'aiguille qui convient parfaitement à l'opinion qu'on vient d'énoncer. Il affirme que toutes les variations pendant la nuit avaient lieu vers l'est (1); ce qui devait arriver si les courans électriques marchaient dans la terre du sud au nord, dessous l'aiguille, ou du nord au sud dans l'espace au-dessus de cette dernière.

§ VI. *Observations générales et éclaircissemens sur la force et la direction de l'induction magnéto-électrique.*

(193) Dans la répétition et la variation de l'expérience de M. Arago, faite par MM. Babbage, Herschell et Harris, ces savans portèrent leur attention sur les différences de force observées entre les métaux et les autres substances dans leur action sur l'aimant. Ces différences furent trouvées être bien grandes (2), et me firent espérer que par des combinaisons mécaniques de différens métaux, on pourrait obtenir d'importans résultats (183). C'est pourquoi on a fait les expériences suivantes dans la vue d'obtenir, s'il était possible, une telle différence d'action de deux métaux.

(194) Un morceau de fil de fer doux (*bonnet-wire*), recouvert de coton, fut mis à nu et bien poli à l'une de ses extrémités que l'on unit par un contact métallique, avec le bout également poli d'un fil de cuivre. On en-

(1) *Transactions philosophiques*, 1831, p. 202.

(2) *Transactions philosophiques*, 1825, p. 472; 1831, p. 76.

tortilla les deux fils ensemble sur dix-huit ou vingt pouces de long, et en les écartant ensuite, on les joignit aux extrémités avec les fils du galvanomètre. Le fil de fer avait environ deux pieds de long, le reste du fil jusqu'au galvanomètre était de cuivre.

(195) Le bout de corde de cuivre et de fer ainsi tortillé (ces métaux ne se touchant plus l'un l'autre qu'à l'extrémité) fut ensuite passé entre les pôles d'un puissant aimant, arrangé en fer de cheval (fig. 32); le galvanomètre ne signala pas le moindre effet, quoique l'appareil semblât propre à signaler une différence électrique quelconque entre les deux métaux, relative à l'action de l'aimant.

(196) On couvrit de papier un cylindre de fer doux vers le milieu, et on roula autour, comme une hélice, la partie entortillée du fil composé dont nous venons de parler, la jonction au galvanomètre étant encore faite par les extrémités A et B. On mit ensuite le cylindre de fer en contact avec les pôles d'un puissant aimant capable de soulever un poids de trente livres; aucun indice d'électricité ne parut encore au galvanomètre. De quelque précaution qu'on fit usage en opérant et interrompant le contact pour obtenir quelque effet, il fut impossible de remarquer la moindre indication de courans.

(197) On expérimenta alternativement de la même manière avec du cuivre et de l'étain, du cuivre et du zinc, de l'étain et du zinc, de l'étain et du fer, du zinc et du fer (194), mais on n'obtint pas même le plus léger indice de courans électriques.

(198) Deux spirales plates, l'une de cuivre et l'autre de fer, contenant chacune dix-huit pouces de fil, furent

jointes ensemble et avec le galvanomètre, et placées l'une vis-à-vis de l'autre de manière à se trouver dans des directions contraires. On les approcha ensuite du pôle magnétique (53), mais on ne remarqua aucune indication électrique au galvanomètre. Lorsqu'on en retourna une tellement que toutes deux se trouvassent dans la même direction, l'effet au galvanomètre fut très-puissant.

(199) L'hélice composée de fil de cuivre et de fer, dont on a fait la description au commencement (8), fut arrangée comme une double hélice; l'une des moitiés, toute de fer, contenait deux cent quatorze pieds de fil; l'autre, toute de cuivre, en contenait deux cent huit pieds. On joignit ensemble les deux bouts analogues AA des hélices de cuivre et de fer, et les autres extrémités BB de chaque hélice furent attachées au galvanomètre; de cette manière, en introduisant un aimant dans l'axe du système, les courans par induction dans le fer et dans le cuivre tendaient à marcher en sens contraire. Cependant lorsqu'on introduisit un aimant ou une barre de fer doux, devenue un aimant par le contact avec les pôles, on ne remarqua aucun effet sur l'aiguille.

(200) Un tube de verre, de quatorze pouces de long, fut rempli d'acide sulfurique concentré. On replia douze pouces de l'extrémité d'un fil de cuivre bien poli, et on les introduisit dans le tube de manière à obtenir un bon contact de surfaces avec l'acide, faisant passer le reste du fil le long de l'extérieur du tube jusqu'au galvanomètre. Un fil également replié à son extrémité fut plongé à l'autre extrémité du tube dans l'acide sulfurique, et aussi joint au galvanomètre, de manière que dans cette expérience l'acide et le fil de cuivre se trouvaient avoir

la même situation réciproque , que le fer et le cuivre dans l'expérience précédente (194). On passa de la même manière cet appareil entre les pôles de l'aimant , mais on ne put remarquer le moindre effet au galvanomètre.

(201) D'après ces expériences , il paraît que lorsque des métaux de différente espèce , joints dans un circuit , sont également soumis toutes choses pareilles , à l'induction magnéto-électrique , ils présentent exactement les mêmes propriétés par rapport aux courans qui sont formés en eux ou qui tendent à s'y former. Il semble en être de même par rapport aux fluides et à toutes les autres substances probablement.

(202) Il semblait encore impossible que ces résultats pussent indiquer la puissance relative d'induction de l'aimant sur les différens métaux ; car on regardait comme une conséquence nécessaire (139) que l'effet eût quelque relation avec le pouvoir conducteur , et l'on avait en effet trouvé que l'influence des plateaux mobiles sur les aimans a un rapport général avec le pouvoir conducteur de la substance dont on fait usage.

(203) Dans les expériences de rotation (81) , le courant électrique est excité et déchargé dans la même substance , quelle que soit la puissance conductrice dont elle est douée ; mais dans les expériences dont nous venons de parler , le courant excité dans le fer ne pouvait être transmis que par le cuivre , et le courant excité dans le cuivre ne pouvait passer que par le fer , c'est-à-dire qu'en supposant que des courans de force inégale soient formés dans les métaux proportionnellement à leur puissance conductrice , le courant le plus fort passerait

par le plus mauvais conducteur, et le plus faible courant passerait par le conducteur le plus actif.

(204) C'est pourquoi on fit des expériences dans lesquelles on passa entre les pôles de l'aimant plusieurs métaux isolés l'un de l'autre, ayant leurs extrémités opposées jointes avec le même bout du fil du galvanomètre, de sorte que les courans qui se formaient et allaient au galvanomètre étaient opposés l'un à l'autre. On employa des longueurs considérables de différens fils métalliques, mais on n'obtint que de faibles déviations.

(205) A l'effet d'obtenir des résultats entièrement satisfaisans, on construisit un nouveau galvanomètre composé de deux parties indépendantes, et contenant dix-huit pieds de fil de cuivre couvert de soie. Ces deux moitiés étaient précisément semblables en figure et en nombre de tours, et elles étaient fixées l'une à côté de l'autre avec un petit intervalle entre elles, dans lequel on pouvait suspendre une double aiguille par un fil de soie, exactement comme dans le premier appareil (87). On désignera ces parties par les deux lettres K, L; lorsque les courans électriques étaient introduits dans les deux moitiés avec la même direction, ils agissaient sur l'aiguille avec la somme de leurs puissances; lorsqu'ils y étaient introduits en direction contraire, ils agissaient avec la différence de leurs intensités.

(206) On joignit alors l'hélice composée (199, 8), savoir, les extrémités A et B du fer avec les bouts A et B de la partie K du galvanomètre, et les extrémités A et B du cuivre avec les bouts B et A de l'autre système L, de sorte que les courans excités dans les deux hélices devaient marcher en direction opposée en traversant les

parties K et L. En introduisant dans les hélices un petit aimant cylindrique, l'aiguille du galvanomètre subit une forte déviation. On détacha la spirale de fer, et l'aimant produisit par la spirale de cuivre seule une déviation encore plus forte dans la même direction. En attachant de nouveau la spirale de fer, et en détachant la spirale de cuivre, l'aimant produisit une déviation médiocre en direction contraire. Il fut ainsi évident que le courant électrique excité par un aimant dans un fil de cuivre, était bien plus puissant que le courant excité par le même aimant dans un fil de fer semblable.

(207) Pour éviter toute méprise qui aurait pu dériver ou de la plus grande influence ou de la proximité (ou d'autres circonstances) d'une moitié du galvanomètre plutôt que de l'autre sur l'aiguille, on prit soin de changer les extrémités du fer et du cuivre par rapport aux cordons K L, de manière que celui qui une fois transmettait le courant du cuivre le recevait, une autre fois, du fer, et *vice versa*. Cependant on remarqua tout comme auparavant la même puissante supériorité du cuivre. On prit cette précaution dans toutes les expériences avec d'autres métaux, que nous allons rapporter.

(208) Je me procurai des fils de fer, de zinc, de cuivre, d'étain et de plomb, tirés au même diamètre (d'un vingtième de pouce à peu près) ayant chacun la même longueur exactement, savoir seize pieds, et je les comparai deux à deux, de la manière suivante : les extrémités du fil de cuivre furent jointes avec les bouts A et B du cordon K du galvanomètre, et les extrémités du fil de zinc furent jointes aux extrémités A et B de L du galvanomètre. Le milieu de chaque fil fut enroulé six

fois autour d'un cylindre de fer doux couvert de papier, suffisamment long pour joindre les pôles de l'aimant en fer à cheval de M. Daniell (56) (fig. 33); les deux hélices de cuivre et de zinc, de six tours chacune, entouraient ainsi la barre à deux points équidistans l'un de l'autre et des pôles de l'aimant; mais par la manière dont on les avait expès arrangées, elles se trouvaient en direction contraire et transmettaient conséquemment des courans contraires aux cordons K et L du galvanomètre.

(209) En opérant et interrompant le contact entre la barre de fer doux et les pôles de l'aimant, le galvanomètre se montrait puissamment affecté; si on détachait le zinc, les indications du galvanomètre étaient encore plus fortes, sans changer de direction. En prenant toutes les précautions dont on a parlé tantôt (207) et d'autres encore, il demeura prouvé incontestablement que le courant excité par l'aimant dans le cuivre était beaucoup plus puissant que le courant excité dans le zinc.

(210) De la même manière, on compara le cuivre avec l'étain, le plomb et le fer, et il les surpassa tous, même plus qu'il ne surpassait le zinc. On essaya le zinc en rapport avec l'étain, le plomb et le fer, et on trouva qu'il produisait un courant plus fort que chacun d'eux. On trouva également le fer plus puissant que l'étain et le plomb, et ce dernier inférieur à l'étain.

(211) Ainsi voilà comme on peut ranger les métaux soumis à l'expérience : le cuivre, le zinc, le fer, l'étain et le plomb. C'est précisément l'ordre qui leur convient par rapport à leur pouvoir conducteur de l'électricité; et, à l'exception du fer, c'est l'ordre présenté par les expériences de rotation magnétique de MM. Babbage,

Herschell, Harris, etc. Le fer jouit d'une puissance additionnelle dans ces dernières expériences, à cause de ses propriétés magnétiques ordinaires; aussi dans de telles expériences, on ne peut pas s'assurer de la place qui lui convient relativement à l'action magnéto-électrique de la nature dont il est question maintenant : mais on peut exactement s'en assurer de la manière que nous venons d'exposer (1).

(212) Il est encore bon d'observer que dans ces expériences on n'obtient pas complètement les rapports entre les différens métaux; car de trente-quatre pieds de fil métallique, contenus dans chaque circuit, il y en a dix-huit de cuivre dans tous les deux, formant le fil des cordons du galvanomètre; et comme le circuit entier influe sur la force résultante du courant, cette circonstance doit tendre à diminuer la différence qui se manifesterait entre les métaux, si les circuits étaient de la même substance partout. Dans le cas dont il s'agit, la différence remarquée n'est probablement que la moitié de celle qu'on aurait obtenue si chaque circuit eût été entièrement d'un seul métal.

(213) Ces résultats tendent à établir que les courans produits dans les corps par l'induction magnéto-élec-

(1) M. Christie qui, ayant été nommé rapporteur de cet écrit, eut occasion de l'avoir entre ses mains avant qu'il fût complété, sentit la difficulté énoncée au § 202. Pour satisfaire son esprit, il fit des expériences sur le fer et le cuivre avec le grand aimant (44), et il parvint aux mêmes résultats que moi. Nos deux séries d'expériences ont été absolument indépendantes l'une de l'autre, aucun de nous n'ayant pu prévoir les procédés qui seraient employés par l'autre.

trique sont proportionnels à leur faculté conductrice. Qu'ils soient *exactement* dans ce rapport, et entièrement dépendans de la puissance conductrice, c'est ce qui est prouvé, je pense, par la neutralité parfaite remarquée lorsque deux métaux ou autres substances, tels que des acides, de l'eau, etc., etc. (201, 186), sont opposés l'un à l'autre dans leur action. Le faible courant qui tend à se former dans le plus mauvais conducteur, trouve sa transmission favorisée dans le meilleur conducteur, et le courant le plus fort qui tend à se former dans ce dernier subit une diminution dans son intensité par la résistance du premier conducteur, et les forces de production et de résistance se balancent si parfaitement qu'elles se neutralisent l'une l'autre d'une manière exacte. Or, comme la résistance est dans un rapport inverse avec le pouvoir conducteur, la tendance à produire un courant doit être dans un rapport direct avec ce pouvoir pour produire l'équilibre parfait.

(214) On trouve maintenant évidente et simple la cause de l'égalité d'action dans les diverses circonstances décrites, où de grandes quantités de fil (183) ou de fil et d'eau (184) étaient jointes ensemble, bien que chaque substance produisît de si différens effets sur l'aimant.

(215) Les effets d'une substance en rotation sur une aiguille ou un aimant, devraient être, lorsque le magnétisme ordinaire n'a aucune influence, dans un rapport direct avec le pouvoir conducteur d'une telle substance; et je hasarde ici d'avancer qu'on trouvera que la chose est ainsi; et que dans toutes ces expériences où des corps non conducteurs ont été supposés présenter l'influence particulière dont il s'agit, le mouvement

était dû à quelque cause étrangère, du genre ordinaire, telle que la communication mécanique du mouvement dans les parties de la préparation, ou autre cause quelconque, comme l'a montré M. Harris dans le cas en question (1), ou bien aux attractions magnétiques ordinaires. Pour ne pas confondre les effets de telles causes avec ceux des courans électriques d'induction, j'ai réussi à imaginer une expérience plus sûre dont je vais bientôt donner la description (243).

(216) Il y a toute raison de croire que l'aimant ou l'aiguille magnétique peut être un excellent moyen de mesure du pouvoir conducteur des substances qu'on met en rotation près de lui ; car j'ai reconnu dans une expérience soigneusement faite, qu'en faisant passer un courant constant d'électricité, successivement par une série de fils de cuivre, de platine, de zinc, d'argent, de plomb et d'étain, tous d'un même diamètre, la déviation de l'aiguille était toujours exactement la même. Il est nécessaire de rappeler que lorsque des corps subissent l'état de rotation dans un plan horizontal, ils sont influencés par le magnétisme terrestre. Comme un semblable effet agit en général sur tout le plateau, il n'apporte dans ce cas aucun inconvénient ; mais il y a des expériences et des calculs où il peut être d'une conséquence importante.

(217) J'ai essayé de résoudre une autre question : savoir s'il est essentiel ou non qu'en coupant les courbes magnétiques, la partie mobile du fil passe par les points de la plus grande ou de la moindre force magnétique,

(1) *Transactions philosophiques*, 1831, p. 68.

ou si, en coupant toujours des courbes d'une égale intensité magnétique, il suffit du simple mouvement pour produire le courant. La vérité de ce dernier énoncé a été prouvée déjà par plusieurs expériences sur l'induction terrestre magnéto-électrique. Ainsi l'électricité dégagée du plateau de cuivre (149), les courans produits dans le globe rotateur (161, etc.), et les courans transmis dans le fil mobile (171), étaient tous produits dans des circonstances où la force magnétique ne pouvait être que la même tant que durait l'expérience.

(218) Pour établir ce même point avec le seul magnétisme ordinaire, un disque de cuivre fut fixé à l'extrémité d'un aimant cylindrique, avec du papier interposé; l'aimant et le disque furent mis en rotation ensemble, et des collecteurs (attachés au galvanomètre) furent mis en contact avec la circonférence et la partie centrale du plateau de cuivre. L'aiguille du galvanomètre se mouvait comme dans les premiers cas, et la *direction* du mouvement était la *même* que celle qu'on aurait obtenue si on n'eût fait tourner que le cuivre en tenant l'aiguille stationnaire; il n'y eut même pas de différence apparente dans la quantité de déviation. Ce qui prouve que la rotation de l'aimant ne produit aucune différence dans les résultats; car un aimant tournant ou stationnaire produit le même effet sur le cuivre mouvant.

(219) On mit ensuite sur l'aimant un cylindre de cuivre fermé à une extrémité, et tellement qu'il en recouvrait la moitié comme un chapeau; il était solidement fixé, et par du papier interposé on avait prévenu tout contact entre lui et l'aimant en quelque point que ce

fût. On plongeait cette préparation dans une étroite carafe de mercure, de manière que le bord inférieur du cylindre de cuivre touchât le fluide métallique; l'un des fils du galvanomètre trempait dans le mercure, et l'autre dans une petite cavité au centre de l'extrémité du chapeau de cuivre. On mit en rotation l'aimant et le cylindre qui en dépendait; il y eut alors une abondante transmission d'électricité à travers le galvanomètre et dans la même direction que si le cylindre eût tourné seul, et que l'aimant fût demeuré en repos. Les résultats étaient donc les mêmes que ceux obtenus avec le disque (218).

(220) Il semblait, comme une conséquence nécessaire, que le métal de l'aimant pût être substitué au cylindre mouvant, au disque ou au fil, et qu'on dût ainsi obtenir encore les effets de l'induction magnéto-électrique d'une manière puissante. On fit donc dans le centre de chaque extrémité d'un aimant cylindrique un petit trou suffisant pour recevoir une goutte de mercure, et on plongeait le cylindre (avec le pôle en haut) dans le même métal contenu dans une étroite carafe. Un fil du galvanomètre plongeait dans le mercure de la carafe, et l'autre dans la goutte contenue dans le trou à l'extrémité supérieure de l'axe. Ensuite on fit tourner l'aimant par un cordon qu'on avait passé autour de lui, et l'aiguille du galvanomètre indiqua immédiatement un courant énergique d'électricité. En renversant le sens de rotation, le courant électrique était également renversé. La direction de sa marche était la même que si on eût fait tourner autour de l'aimant stationnaire le cylindre de cuivre (219), ou un fil de cuivre, dans la même direction que l'aimant avait

suivie. On reconnut ainsi jusqu'à l'évidence une singulière indépendance entre le magnétisme et la barre où il réside.

(221) Dans l'expérience dont nous venons de parler, le mercure remontait jusqu'à la moitié de l'aimant; mais lorsque sa quantité était augmentée jusqu'à un huitième de pouce de la sommité, ou qu'elle était également diminuée jusque près la base, on obtenait encore les mêmes effets et la *même direction* du courant électrique. Cependant dans ces proportions extrêmes les effets ne paraissaient pas si énergiques que lorsque la surface du mercure atteignait le milieu de l'aimant, ou se trouvait entre ce milieu et un pouce de l'une ou de l'autre extrémité. La longueur de l'aimant était de huit pouces et demi sur un diamètre de trois quarts de pouce.

(222) En renversant l'aimant et en faisant la rotation dans la même direction, c'est-à-dire toujours dans le sens du mouvement d'une vis, ou toujours dans le sens contraire, on obtint un courant contraire d'électricité. Mais en continuant le mouvement de l'aimant dans une direction constante par rapport à son *propre axe*, on obtenait une électricité de même nature aux deux pôles, et une électricité contraire soit à l'équateur, soit dans le voisinage et les conducteurs aboutissants. En tenant l'aimant parallèle à l'axe de la terre, avec son pôle *non marqué* tourné du côté de l'étoile polaire, et en le mettant en rotation de manière que ses parties supérieures passassent de l'ouest à l'est conformément au mouvement de la terre, on obtenait aux extrémités de l'aimant une électricité positive et une électricité négative au centre de sa masse ou dans ses environs.

(223) Lorsque le galvanomètre était fort sensible, le simple mouvement de l'aimant dans l'air, pendant que l'un des fils du galvanomètre touchait les extrémités de l'aimant, et l'autre les parties équatoriales, suffisait pour dégager un courant d'électricité et produire une déviation dans l'aiguille.

(224) On fit des expériences avec un semblable aimant à l'effet de vérifier s'il n'y aurait pas quelque courant électrique en retour aux parties centrales ou de l'axe, douées d'une même vitesse angulaire que les autres parties (259) : on avait l'opinion qu'il ne pût pas y en avoir.

(225) À une extrémité d'un aimant cylindrique long de sept pouces et de trois quarts de pouce en diamètre, on creusa un trou dans la direction de son axe à la profondeur de trois pouces et d'un quart de pouce en diamètre. Un cylindre de cuivre, entouré de papier et amalgamé aux deux extrémités, fut fixé dans le trou, de manière que sa base fût en contact métallique avec le milieu de l'aimant par un peu de mercure ; il était isolé aux côtés par le papier, et il surmontait l'extrémité de l'acier d'un quart de pouce environ. On fixa sur la verge de cuivre, qui touchait au papier, un tuyau de plume formant un godet pour recevoir le mercure nécessaire au complément du contact. On éleva en outre autour de l'extrémité de l'aimant un gros rebord de papier, et on y versa du mercure, qui n'avait pourtant aucune connexion métallique avec le mercure contenu dans la plume, excepté par l'aimant même et la verge de cuivre (34^e fig.). Les fils *A* et *B* du galvanomètre trempaient dans ces deux portions de mercure ; tous les courants qui les traversaient ne pouvaient donc que

descendre par l'aimant vers les parties équatoriales, et monter ensuite par la verge de cuivre, ou *vice versa*.

(226) Lorsque l'appareil fut arrangé de cette manière, et mis en rotation comme une vis, le bout marqué de l'aiguille du galvanomètre tourna vers l'ouest; ce qui indiquait dans l'instrument un courant de *A* à *B*, et conséquemment de *B* à *A* dans l'aimant et la verge de cuivre (34° fig.).

(227) On mit ensuite, comme auparavant (219), l'aimant dans une carafe de mercure (35° fig.); le fil *A* demeurait en contact avec l'axe du cuivre, mais le fil *B* trempait dans le mercure de la carafe, et conséquemment se trouvait en communication métallique avec les parties équatoriales de l'aimant, et non plus avec son extrémité polaire. En faisant tourner l'aimant à la manière d'une vis, l'aiguille du galvanomètre subissait une déviation dans la même direction qu'auparavant, mais bien plus puissamment. Il est toutefois évident que les parties de l'aimant depuis l'équateur au pôle se trouvaient hors du circuit électrique.

(228) Ensuite le fil *A* fut joint avec le mercure à l'extrémité de l'aimant, laissant encore le fil *B* en contact avec le mercure de la carafe (36° fig.); l'axe du cuivre se trouvait ainsi entièrement hors du circuit. On fit de nouveau tourner l'aimant à la façon d'une vis, et l'aiguille subit de nouveau la même déviation; car le courant était aussi fort que dans la dernière expérience, et beaucoup plus fort que dans la première (226).

(229) Il est donc évident qu'il n'y a pas de décharge du courant au centre de l'aimant; car le courant, librement dégagé maintenant, montait à travers l'aimant,

tandis que dans la première expérience (226) il descendait. Effectivement il n'y avait alors d'agissant que la partie du métal mobile semblable à un petit disque qui s'étendait de l'extrémité du fil *B* trempant dans le mercure au fil *A*; car cette seule partie se mouvait avec une vitesse angulaire différente du reste du circuit (258); et quant à cette portion, la direction du courant est conforme aux autres résultats.

(230) Dans les deux expériences suivantes les parties *latérales* de l'aimant ou de la verge de cuivre sont celles qui se meuvent relativement aux autres parties du circuit, c'est-à-dire, les fils du galvanomètre; et étant plus loin de l'axe, coupant plus de courbes, ou se mouvant avec plus de vitesse, elles produisent un plus grand effet. Quant aux différentes sections circulaires, la direction du courant électrique excité est partout la même, nommément de la circonférence au centre.

(231) Ainsi rendue plus précise et mieux définie (217, 220, 224) la loi suivant laquelle le courant électrique produit par influence dans les corps qui se meuvent par rapport aux aimans, dépend de l'intersection des courbes magnétiques par le métal (114), semble maintenant être aussi applicable à la cause énoncée dans la première section du mémoire précédent; et, par l'explication complète qu'elle donne des effets produits, ôter toute raison de supposer cette condition particulière que je hasardai d'appeler l'état *électro-tonique* (60).

(232) Lorsqu'un courant électrique traverse un fil, ce fil est entouré de toute part par des courbes magnétiques qui diminuent d'intensité à mesure qu'elles s'éloignent du fil, et qu'on peut se figurer comme des an-

neaux rangés en différens plans perpendiculaires au fil, ou plutôt au courant électrique qui le traverse. Ces courbes, bien que différentes de forme, sont parfaitement analogues à celles qui existent entre deux pôles magnétiques contraires, opposés l'un à l'autre; et lorsqu'un second fil parallèle à celui qui transmet le courant est approché de ce même fil (18), il traverse des courbes magnétiques qui sont exactement de la même nature que celles qu'il traverserait, s'il était introduit entre les pôles magnétiques opposés (109); et lorsqu'il est éloigné du fil excitateur, il coupe les courbes qui l'environnent de la même manière qu'il couperait les courbes situées entre les mêmes pôles s'il était mu dans une direction contraire à la précédente.

(233) Si le fil *NP* (40^e fig.) était traversé par un courant électrique dans la direction de *P* à *N*, si l'anneau ponctué représentait une courbe magnétique environnant le fil, et telle que de petites aiguilles magnétiques prissent librement la direction de ses tangentes, elles se trouveraient disposées comme on le voit dans la figure, *n* et *s* indiquant les extrémités nord et sud (44, note).

(234) Mais si le courant d'électricité était interrompu pour quelque temps, et si l'on se servait des pôles magnétiques pour diriger les aiguilles et leur faire prendre la même position qu'elles avaient sous l'influence du courant, les pôles devraient être comme dans la fig. 41; les pôles *marqué* et *non-marqué* *a b* au-dessus du fil étant en direction opposée aux pôles *a' b'* placés au-dessous. Dans une semblable position les courbes magnétiques entre les pôles *a b* et *a' b'* auraient une même direction générale que les parties analogues des anneaux des

courbes magnétiques dont était entouré le fil NP transmettant un courant électrique.

(235) Si l'on approche maintenant le second fil pn (fig. 40) vers le fil principal transmettant un courant, il coupera une infinité de courbes magnétiques dans une même direction que celle qui est figurée, et par conséquent dans une même direction que les courbes entre les pôles a b des aimans (41^e fig.), et il coupera ces courbes provenant du courant de la même manière qu'il couperait les courbes produites par l'aimant, s'il passait de haut en bas entre les pôles. Or ces intersections successives devraient exciter, avec les aimans, un courant électrique dans le fil de p à n (114); et par conséquent comme les courbes ont la même disposition, le même effet doit résulter de l'intersection des courbes magnétiques environnant le courant du fil NP ; ce qui arrive véritablement, car si on approche le fil np , le courant qui s'y développe est en direction opposée au courant principal (19).

(236) Si le fil $p'n'$ est mu de bas en haut, il passera dans la direction opposée entre les pôles magnétiques; mais les pôles magnétiques eux-mêmes seront renversés (41^e fig.), et par conséquent le courant excité sera encore dans la même direction qu'auparavant. Il le sera de même par des raisons également suffisantes et évidentes, lorsqu'il est produit par l'influence des courbes provenant du fil NP .

(237) Si on tient le second fil en repos près du fil principal, il n'est traversé par aucun courant d'induction, car il ne traverse aucune courbe magnétique; mais s'il est éloigné du fil principal, il coupe les courbes dans

une direction contraire à celle qui avait lieu auparavant (235), et un courant est excité dans une direction opposée, semblable par conséquent à la direction du courant principal (19). Il arriverait le même effet si on renversait la direction du mouvement du fil en le faisant passer entre les pôles (41^e fig.), car il couperait les courbes qui les entourent dans un sens contraire à celui qui avait lieu d'abord.

(238) Dans les premières expériences (10, 13), le fil exciteur et le fil soumis à son influence étaient disposés à une distance donnée l'un de l'autre, et un courant électrique était alors introduit dans le premier. En pareil cas, les courbes magnétiques doivent être considérées comme si elles se mouvaient (si je puis ainsi m'exprimer) à travers le fil soumis à l'induction, dès le moment qu'elles commencent à se développer, jusqu'à ce que la force magnétique du courant soit arrivée à son plus haut degré; marchant comme si elles s'éloignaient du fil extérieur et étant par conséquent dans le même rapport avec le fil soumis à l'induction que s'il se mouvait dans une direction opposée à travers les courbes ou vers le fil qui transmet le courant. En pareil cas, le premier courant excité était conséquemment dans une direction contraire à celle du courant principal (17, 235). En interrompant le contact de la batterie, les courbes magnétiques (● ne sont qu'une manière d'exprimer l'arrangement des forces magnétiques) peuvent être considérées comme se resserrant et retournant du côté du courant électrique qui cesse; elles se meuvent donc dans une direction opposée à travers le fil, et produisent un courant d'induction contraire au premier.

(239) Lorsque, dans les expériences avec les aimans ordinaires, on aimantait un barreau près des fils, au lieu de le faire mouvoir tout aimanté (27, 36), c'était comme s'il y avait eu un développement progressif analogue des courbes magnétiques, produisant les mêmes effets qui auraient eu lieu par le mouvement des fils dans une certaine direction ; la destruction de la puissance magnétique correspond au mouvement du fil dans une direction opposée.

(240) Si, au lieu de couper les courbes magnétiques d'un fil droit conduisant un courant, par un second fil qu'on approche ou qu'on éloigne (235), on fait usage d'un plateau rotateur placé à cet effet près du premier fil, et coupant, comme faisait le plateau, les courbes magnétiques, alors il y aura dans le plateau induction de courans électriques continus ; et si une ligne joignant le fil avec le centre du plateau est perpendiculaire à tous les deux, le courant excité traversera, suivant la loi (114), le plateau directement d'un bord à l'autre et à angle droit avec la direction du courant dans le fil exciteur.

(241) On fit passer un courant électrique dans un simple fil métallique d'un vingtième de pouce en diamètre, et on mit en rotation, près de lui et en dessous, un petit disque de cuivre d'un pouce et demi en diamètre, de manière pourtant qu'il ne fût pas en contact avec le fil (39^e fig.). On appliqua ensuite aux bords opposés du disque les collecteurs et on en attacha les fils au galvanomètre. Lorsque le disque tournait dans une direction, l'aiguille subissait une déviation d'un côté ; et lorsqu'on renversait la direction de la rotation,

l'aiguille tournait de l'autre côté, ce qui s'accorde avec les résultats déjà énoncés.

(242) De cette manière tombaient les raisons qui m'avaient fait supposer dans le fil un état particulier (60); et quoiqu'il me semble encore peu vraisemblable qu'un fil en repos puisse être complètement indifférent à un fil dont il se trouve très-voisin et qui est traversé par un puissant courant électrique, je n'ai pas non plus de faits bien décidés qui me permettent d'affirmer que le fil isolé se trouve dans un état particulier.

(243) En considérant la nature de la cause assignée dans cet écrit à l'influence réciproque des aimans et des métaux mobiles (120), et en la comparant avec la cause admise auparavant, savoir, l'induction d'un faible magnétisme semblable à celui qui est produit dans le fer, je pensai qu'on pourrait soumettre à une épreuve expérimentale plus décisive les deux opinions (215).

(244) On ne connaît aucune force qui ait la même direction que celle excitée entre un courant électrique et un pôle magnétique; celle-ci est tangentielle, tandis que toutes les autres forces qui agissent à distance sont directes. Par conséquent, si un pôle magnétique, qui se trouve d'un côté d'un plateau mobile, en suit la rotation à cause de la loi qui le soumet à la force tangentielle exercée sur lui par le courant d'électricité qu'il a lui-même produit, un semblable pôle, se trouvant du côté opposé du plateau, devra immédiatement dégager le premier d'une telle force; car les courans qui tendent à être formés par l'action des deux pôles, sont en direction opposée, ou plutôt il n'y a point de tendance à la formation d'aucun courant, ou il n'y a aucune intersection

de courbes magnétiques (114); l'aimant devra donc demeurer stationnaire. Si, au contraire, l'action d'un pôle nord magnétique produisait une polarité australe dans la plus proche partie du plateau de cuivre, et une polarité boréale diffuse ailleurs (82), ce qui arrive effectivement avec le fer; dans ce cas, l'emploi d'un autre pôle nord au côté opposé de la partie du plateau en question devrait redoubler l'effet au lieu de le détruire, et redoubler la tendance du premier aimant à se mouvoir avec le plateau.

(245) Un plateau épais de cuivre (85) fut donc fixé sur un axe vertical; on suspendit une barre aimantée par des fils de soie plate, de manière que son pôle marqué se trouvât vis-à-vis et au-dessus du bord; on interposa une feuille de papier, et on mit le plateau en rotation; le pôle magnétique obéit immédiatement à ce mouvement, et fut entraîné dans la même direction. Un second aimant d'égale force et grandeur fut alors lié au premier, de sorte que son pôle marqué se trouvât *au-dessous* du bord du plateau de cuivre dans une position analogue à l'aimant de dessus et à une égale distance (37^e fig.). On interposa le papier tout comme auparavant; on mit le plateau en rotation, et les pôles se montrèrent complètement indifférens à son mouvement, quoique l'un et l'autre isolément en eussent suivi le cours.

(246) En tournant l'un des aimans de manière que les pôles *opposés* correspondissent au même bord du plateau, l'action réciproque des pôles et du métal mobile parvint à son maximum.

(247) En suspendant l'un des aimans de manière que son axe fût au niveau du plateau quel que fut le pôle

voisin du bord, la révolution du plateau ne produisit aucun mouvement dans l'aimant. Les courans électriques par induction tendaient maintenant à être produits dans une direction verticale à travers l'épaisseur du plateau, mais ils ne pouvaient pas se décharger, du moins ils ne le pouvaient qu'à un si faible degré que tous les effets étaient insensibles; l'influence magnétique ordinaire, ou celle d'un plateau de fer, aurait été, dans une telle position, également développée, si ce n'est plus puissamment encore (251).

(248) Maintenant, par rapport à la production de l'électricité dans ces cas : — Toutes les fois que l'on communiquait le mouvement aux aimans par la rotation du plateau, il y avait des courans; dès que ce mouvement n'était plus communiqué, les courans cessaient. Le pôle marqué d'une large barre aimantée fut mis sous le bord du plateau; on appliqua les collecteurs (86) à l'axe et au bord du plateau comme auparavant (38^e fig.), et on les attacha au galvanomètre; on mit le plateau en rotation, et une abondante électricité fut transmise à l'instrument. Le pôle non marqué d'un semblable aimant fut ensuite placé au-dessus du premier pôle marqué, et de cette manière deux pôles contraires se trouvèrent vis-à-vis du bord, l'un au-dessus et l'autre au-dessous; on mit en rotation le plateau, et l'électricité dégagée fut aussi puissante qu'auparavant. Ensuite on retourna le dernier aimant; deux pôles marqués se trouvèrent alors en présence aux faces opposées du plateau, l'un en haut et l'autre en bas; on mit le plateau en rotation, et on eut peine à obtenir quelques traces d'électricité. On proportionna la distance des pôles à leur force relative; ils

parvinrent si parfaitement à neutraliser l'action inductive l'un de l'autre, sur le plateau, que, malgré la rotation la plus rapide, on ne put pas obtenir le moindre développement d'électricité.

(249) Je passai alors à comparer l'effet des pôles semblables et dissemblables sur le fer et le cuivre, et j'adoptai à cet effet la forme très-utile de l'expérience de M. Arago employée par M. Sturgeon. Celle-ci consiste dans un plateau circulaire de métal, soutenu dans un plan vertical par un axe horizontal, et chargé tant soit peu d'un côté, ou rendu excentrique de manière à osciller comme un pendule. Les pôles des aimans sont appliqués près du côté et des bords de ces plateaux, et le nombre des oscillations nécessaires pour réduire l'arc d'oscillation à une certaine quantité constante, est noté. Dans la première description de cet instrument (1), il est dit que les pôles opposés produisaient les plus grands effets de retardation, et les pôles semblables point; et cependant, une page plus loin, l'effet est considéré comme étant de la même nature que celui produit dans le fer.

(250) Je me procurai deux de ces plateaux montés, l'un de cuivre, l'autre de fer. Le plateau de cuivre seul donna soixante oscillations, terme moyen de plusieurs expériences, pour que l'arc d'oscillation fût réduit d'une certaine amplitude à une autre. En plaçant des pôles magnétiques opposés de chaque côté, à la même place, le même effet avait lieu en quinze oscillations. En y substituant des pôles semblables, le nombre des oscillations monta à cinquante; et en plaçant deux morceaux de bois

(1) *Journal phil. d'Édinb.* 1825, p. 124.

de la même grandeur que les pôles, également près, les oscillations allèrent à cinquante-deux. Ainsi lorsqu'on se servait de pôles semblables, l'effet magnétique était le moindre ou nul (la résistance étant due au peu de passage donné à l'air plutôt qu'à toute autre cause); il était à son plus haut degré lorsqu'on faisait usage de pôles opposés. En présentant un pôle au bord même du plateau, il n'y avait aucune retardation.

(251) Le plateau de fer seul donna trente-deux oscillations, tandis que l'arc d'oscillation diminuait d'une certaine quantité. En présentant un pôle magnétique aux bords du plateau (247), le nombre des oscillations descendait à onze, et à cinq lorsque le pôle se trouvait à un demi-pouce environ du bord.

(252) Lorsque le pôle *marqué* fut placé à côté du plateau de fer à une certaine distance, le nombre des oscillations n'était que de cinq, et lorsque le pôle *marqué* de la seconde barre était placé à la même distance, du côté opposé du plateau (250), le nombre des oscillations n'était plus que de deux. Mais si le second pôle était un pôle *non marqué*, occupant toujours la même position, les oscillations montaient à vingt-deux. En éloignant tant soit peu du plateau le plus près des deux pôles opposés, les oscillations avaient à trente et une, ou près du nombre primitif. Mais en l'éloignant tout-à-fait, elles tombaient entre cinq et six.

(253) Rien ne peut être plus net que ce résultat; lorsqu'il s'agit du fer et des autres corps sensibles à l'influence magnétique ordinaire, les pôles *opposés*, placés des côtés opposés du plateau, neutralisent réciproquement l'effet l'un de l'autre, tandis que les pôles *sem-*

blables l'augmentent : un simple pôle de côté est aussi actif. Mais lorsqu'il s'agit du cuivre et des autres substances non sensibles aux influences magnétiques ordinaires, les pôles *semblables* placés des côtés opposés du plateau se neutralisent réciproquement ; les pôles *opposés* se renforcent, et un simple pôle au bord ne fait rien.

(254) Rien ne peut montrer plus complètement l'indépendance absolue entre les effets obtenus avec les métaux par M. Arago, et les effets produits par les forces magnétiques ordinaires ; aussi l'application de deux pôles à différentes substances en mouvement, lorsqu'elles semblent toutes affectées magnétiquement, servira d'épreuve pour apprécier la nature d'une semblable action. Si les pôles opposés produisent plus d'effet qu'un seul pôle, la force sera due aux courans électriques ; si les pôles semblables produisent plus d'effet qu'un seul pôle, l'action ne sera pas électrique ; on ne la trouvera nulle part aussi active que dans les métaux et le charbon en mouvement ; et dans plusieurs cas probablement, on la trouvera n'être pas même magnétique, mais le résultat de causes irrégulières, imprévues et non calculées.

(255) Le résultat de ces recherches tend à faire voir qu'il n'y a effectivement que très-peu de corps qui soient magnétiques comme le fer. J'ai voulu souvent rechercher des indices d'une telle puissance dans les métaux communs et autres substances. Pour éclaircir l'objection de M. Arago (82), en même temps que dans l'espoir de m'assurer de l'existence de courans dans les métaux, produits par l'approchement momentané d'un aimant, je suspendis un disque de cuivre à un simple fil de soie, dans un vide parfait, et j'approchai à l'extérieur de la

bouteille de puissans aimans, en les approchant ou en les éloignant d'accord avec un pendule qui oscillait tout comme le disque l'aurait fait : je n'obtins aucun mouvement, et non-seulement aucune indication de forces magnétiques ordinaires, mais pas même d'*aucun courant électrique* qui pût être produit dans le métal par l'approche ou l'éloignement de l'aimant. Je hasarde donc de ranger les substances en trois classes par rapport à leur relation aux aimans ; premièrement celles qui sont affectées étant en repos, telles que le fer, le nickel, etc., comme douées des propriétés magnétiques ordinaires ; ensuite les substances qui sont affectées étant en mouvement, conductives d'électricité et dans lesquelles la force inductive de l'aimant produit des courans électriques ; et dernièrement les substances qui sont parfaitement indifférentes à l'aimant, soit qu'elles se trouvent en repos ou en mouvement.

(256) Il faudra des recherches ultérieures et probablement des investigations exactes, tant expérimentales que mathématiques, avant qu'on parvienne à bien s'assurer du mode d'action réciproque d'un aimant et d'un métal mis en mouvement ; cependant plusieurs des résultats obtenus semblent assez clairs et assez simples pour permettre d'en donner l'expression d'une manière tant soit peu générale. Si un fil métallique borné est mis en mouvement de sorte qu'il coupe une courbe magnétique, il se développe dans cette action une puissance qui tend à faire traverser le fil par un courant électrique ; mais un tel courant ne peut pas se créer sans qu'il existe de l'électricité aux extrémités du fil pour la décharge et le renouvellement du courant.

(257) Si un second fil est mis en mouvement dans la même direction que le premier, la même puissance exerce son action sur lui, et il ne peut par conséquent altérer la condition du premier; car il paraît qu'il n'existe point parmi des substances formant un même circuit des différences de nature, telles qu'en se mouvant au milieu des mêmes circonstances relativement à l'aimant, l'une tende à produire un courant électrique plus puissant que l'autre dans tout le système (201, 214).

(258) Mais si le second fil est mu avec une vitesse différente ou dans une autre direction, il y a alors différence dans la force qui se développe; et si on joint les fils à leurs extrémités, ils sont traversés par un courant électrique.

(259) En prenant une masse de métal ou un fil d'une longueur indéfinie, et mobile par rapport au pôle d'un aimant considéré comme un centre d'action (ce qui, sans être parfaitement exact, peut être permis à présent pour la facilité de l'expression), si toutes les parties de la masse ou du fil sont mues dans une même direction, avec la même vitesse angulaire, et à travers des courbes magnétiques d'une intensité constante, on n'obtiendra aucun courant électrique. C'est un fait qui peut être aisément observé avec des masses soumises au magnétisme terrestre, et qui peut également être prouvé avec de petits aimans; en faisant tourner ceux-ci sur eux-mêmes et en laissant les arrangemens métalliques stationnaires, il ne se produit aucun courant.

(260) Si une portion du fil ou du métal coupe les courbes magnétiques, tandis que le reste demeure stationnaire, il y a alors développement de courans. Tous

les résultats obtenus avec le galvanomètre sont plus ou moins de cette nature ; l'extrémité du galvanomètre servait de partie immobile. On peut également considérer comme tels , sans crainte d'erreur, les résultats obtenus avec le fil, le galvanomètre et la terre (170).

(261) Si le mouvement du métal a lieu dans une même direction, mais avec des vitesses angulaires différentes pour les différentes parties relativement au pôle de l'aimant, il y a alors formation de courans. C'est ce qui se vérifie dans l'expérience de M. Arago, et même dans le fil soumis à l'induction de la terre (172) lorsqu'il est mu de l'ouest à l'est.

(262) Si l'aimant est mis en mouvement, il y a, comme dans le cas précédent, des courans, non dans la direction, mais transversalement à la direction de son mouvement.

(263) Si différentes parties sont mises en mouvement avec des vitesses égales, mais dans des directions opposées à travers les courbes magnétiques, alors on obtient le maximum de l'effet.

(264) Tous ces résultats ne sont en effet qu'autant de cas divers d'une même condition, savoir, que tous les points de la masse ne doivent pas se mouvoir dans la même direction à travers les courbes, ni avec la même vitesse angulaire. Ce sont pourtant des formes d'expression qui, gravées dans la mémoire, m'ont été utiles lorsque j'ai eu à analyser des phénomènes particuliers au moyen des résultats généraux.

Institution royale. 21 décembre 1831.
