HAL
open science

Recherches contradictoires sur l'effet magnétique de la convection électrique

Harold Pender, Victor Crémieu

To cite this version:

Harold Pender, Victor Crémieu. Recherches contradictoires sur l'effet magnétique de la convection électrique. J. Phys. Theor. Appl., 1903, 2 (1), pp.641-666. 10.1051/jphystap:019030020064100 . jpa-00240813

HAL Id: jpa-00240813

https://hal.science/jpa-00240813v1

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RECHERCHES CONTRADICTOIRES SUR L'EFFET MAGNÉTIQUE DE LA CONVECTION ÉLECTRIQUE;

Par MM. HAROLD PENDER et VICTOR CRÉMIEU (1).

Dans un article paru dans ce recueil (2), Crémieu a exposé quel était, à cette époque, l'état de la question de la convection électrique. Des résultats contradictoires avaient été obtenus, les uns semblant prouver l'existence d'un effet magnétique dû au transport d'une charge par son support pondérable ; les autres paraissant au contraire démentir l'existence de cet effet.

Dans le même article, les conditions nécessaires d'une expérience de convection correcte avaient été posées. Nous rappelons qu'elles se ramènent à la réalisation des points expérimentaux suivants :

Certitude qu'on entraîne une charge ;

Que cette charge seule peut agir sur les appareils destinés à déçeler les effets magnétiques attribués à sa convection ;

Que, pendant le transport, la charge ne subit aucune variation ; en particulier que les pertes ont été limitées à une très faible fraction de la valeur absolue de la charge entraînée.

En présence des résultats opposés obtenus sur une question aussi fondamentale, M. H. Poincaré prit l'initiative de provoquer une étude expérimentale contradictoire entre deux physiciens ayant obtenu des résultats inverses. D'accord avec lord Kelvin, Paris fut choisi comme le lieu le plus favorable à ces expériences, et M. E. Bouty voulut bien mettre son laboratoire à la disposition des chercheurs.

Les résultats positifs les plus nets avaient été obtenus par M. H. Pender : invité par MM. Poincaré et Bouty au nom de l'Université de Paris, il accepta de venir travailler contradictoirement avec M. Crémieu ; la John Hopkin's University mit à la disposition de M. Pender tous les appareils nécessaires, et s'entremit pour obtenir de la Carnegie Institution les sommes suffisantes pour payer les frais de déplacement. D'ailleurs l'Institut de France voulut bien accorder au laboratoire de M. Bouty les ressources indispensables pour couvrir les frais entraînés par les expériences.

(1) Voir *J. de Phys.*, 4e série, t. II, p. 753 ; 1902.

(2) Communication faite à la Société française de Physique : Séance de Pâques, 17 avril 1903.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphystap:019030020064100

Au moment de rendre compte de notre travail en commun, nous voulons d'abord rendre à la mémoire de Rowland, l'illustre savant qui le premier a abordé expérimentalement le problème de la convection, l'hommage de notre admiration et de notre reconnaissance.

Nous ressentons une véritable joie de pouvoir exprimer à M. H. Poincaré et à M. E. Bouty tout ce que nous éprouvons pour leur initiative et leur libéralité. C'est à leurs conseils éclairés que nous devons d'avoir pu, en trois mois, réaliser un programme à peu près complet d'expériences très délicates ; c'est grâce à la très remarquable organisation du laboratoire de M. Bouty que nous n'avons pas été arrêtés une seule fois par le manque d'appareils ou de moyens physiques quelconques.

Enfin nous sommes heureux d'exprimer toute notre gratitude pour les libéralités de la Carnegie Institution, de la John Hopkin's University et de l'Institut de France.

Répétition de l'expérience Pender. — Crémieu avait été amené, en 1899-1900 (1), à reprendre les expériences de Rowland, et, pour des considérations qui ont été développées ailleurs, il avait modifié le principe de ces expériences. Au lieu des effets magnétiques directs, il avait étudié les effets d'induction magnétique de la convection électrique. L'expérience donna des résultats négatifs, qui se continuèrent pendant de longues séries et résistèrent à de très nombreuses objections.

Sur les conseils de Rowland, Pender reprit, en l'améliorant, la méthode de M. Crémieu. Il opéra d'abord à la John Hopkin's University, puis en pleine campagne, loin de tout centre industriel. On trouvera dans les mémoires originaux (2) les détails relatifs à ces deux séries d'expériences. Les résultats en étaient nettement positifs ; pour la seconde série en particulier, il y avait accord entre le calcul et les mesures à 5 0/0 près.

En venant à Paris, M. Pender avait apporté tous ses appareils, et nous avons d'abord réinstallé son expérience, dans des conditions aussi voisines que possible des conditions originales.

La seule condition qui n'a pu être réalisée est la stabilité mécanique et magnétique. Toutefois nous avons pu facilement retrouver qualitativement les effets d'induction magnétique déjà constatés par

(1) Crémieu, *Thèse de Paris*, Gauthier-Villars, 1901.
(2) *Phil. Mag.*, 6e série, t. II, p. 179 ; 1901 ; et *loc. cit.*

Pender. Nous avons vérifié avec une approximation suffisante la proportionnalité de ces effets à la vitesse de rotation des disques, à la densité superficielle de la charge qu'ils entraînent. Nous avons constaté de plus que les effets des deux disques s'ajoutent ou se retranchent conformément à la théorie, et qu'ils suivent bien la loi de la distance entre les disques et la bobine induite.

Comme ordre de grandeur, les déviations obtenues variaient de 38 à 800 millimètres, sur une échelle placée à 4 mètres de distance du galvanomètre de mesure.

Répétition de l'expérience Crémieu. — D'autre part, M. Crémieu a remonté son expérience d'induction, dans des conditions à peu près identiques aux conditions originales. Toutefois le galvanomètre qui lui avait servi n'existait plus, et nous avons dû en prendre un autre; de plus, les conditions de stabilité étaient moins bonnes que dans la première installation.

Quoique les effets dus à la charge ou à la décharge au repos n'aient pu être entièrement éliminés, nous avons obtenu avec une netteté très suffisante les mêmes résultats négatifs que dans la première expérience.

Vérifications sur l'expérience Crémieu. — Dans ces deux séries, nous nous sommes servis de disques métalliques continus tournant entre des armatures parallèles continues. Au cours de la répétition des expériences Pender, nous avions constaté le fait suivant : Quand des aigrettes venaient à éclater entre le disque et ses armatures, par suite de l'emploi d'un voltage trop élevé, par exemple, les effets d'induction magnétique observés tombaient sensiblement à zéro, quoique l'électromètre, relié au disque, n'accusât pas de chute de plus de 1/10e de la valeur observée sans aigrette.

Dans le dispositif Crémieu, il est impossible, à cause des pièces de fonte qui forment à la fois les armatures externes du disque tournant et le noyau magnétique de la bobine induite, de voir si des aigrettes éclatent entre le disque et ses armatures. D'ailleurs la très faible distance qui existe entre ces pièces rend très possible la production des aigrettes, malgré les couches de caoutchouc qui les recouvrent.

Seule une mesure galvanométrique de la quantité d'électricité abandonnée par le disque à chaque contact de décharge, ou prise à chaque charge, pouvait nous renseigner à cet égard. Nous avons fait cette mesure en employant des voltages croissant de 1000 à 5500 volts. Pour 1000 volts, il est bien certain qu'aucune aigrette ne peut

se produire à travers $3^{mm},5$ d'air. En augmentant graduellement le voltage, on devra obtenir des courants proportionnels à cette augmentation s'il n'y a pas d'aigrette. Dès qu'il s'en produira, des pertes interviendront ; les courants de charge deviendront alors plus forts, et ceux de décharge plus faibles que la valeur voulue pour la proportionnalité au voltage.

Les mesures ont montré que, jusqu'à 5500 volts, potentiel maximum employé, la proportionnalité se maintenait.

La cause du résultat négatif de Crémieu n'était donc pas là.

Vérifications sur l'expérience Pender. — Dans les séries d'expériences faites en 1902 par Crémieu [1] avec l'aide de M. J. Javal, sur les courants ouverts, on avait constaté l'existence d'effets magnétiques produits au voisinage de nœuds d'oscillations électriques tels que ceux constitués par les disques tournants des expériences de convection. Les conditions de production de ces effets sont assez voisines de celles des expériences Pender pour qu'on puisse craindre que les effets magnétiques observés dans ces expériences soient dus à ces oscillations et non pas à la convection elle-même.

Cette hypothèse était rendue assez vraisemblable par certains effets magnétiques observés quand on chargeait et déchargeait les disques au repos ; ces effets, assez irréguliers à la vérité, sont cependant réversibles avec le signe de la charge, et capables de donner au galvanomètre, relié à la bobine induite, des déviations de plus de 100 millimètres. D'ailleurs ces effets augmentent dès que la plus petite ouverture se produit dans l'écran électrique de papier d'étain qui protège la bobine.

L'intérieur de celle-ci, d'un diamètre égal à celui des disques, est d'ailleurs dépourvu de tout écran, si bien que tous les flux magnétiques peuvent traverser la bobine ; ceux dus aux oscillations amorties pouvaient donc agir.

Pour vérifier si ces oscillations jouaient un rôle, nous avons placé la bobine Pender à l'intérieur d'une boîte de laiton de 2 millimètres d'épaisseur, entièrement fermée. Ceci a diminué notablement les perturbations causées par la charge au repos. Mais les effets magnétiques dus au mouvement ont conservé leur ordre de grandeur à 10 0/0 près, c'est-à-dire avec l'approximation même que comportaient nos expériences.

---

(1) *C. R.*, t. CXXXV, p. 27 ; 1902 ; — et *J. de Phys.*, t. I, p. 753 ; 1902.

Toutefois, dans l'expérience négative de M. Crémieu, le noyau de fonte à l'intérieur duquel tournent les disques peut arrêter tous les flux magnétiques qui tendraient à traverser la bobine ; ce noyau constitue un écran parfait, ce qui n'est pas le cas de la boîte de laiton où nous avions enfermé la bobine de Pender. On sait en effet que les ondes amorties, comme celles qui prennent naissance autour d'un corps dont la charge varie rapidement, traversent sans altération appréciable des écrans conducteurs même très épais. Il aurait donc fallu mettre un écran magnétique à la bobine Pender pour vérifier ce point.

Nous avons pensé qu'on pouvait agir plus simplement. Si les effets obtenus par Pender étaient dus à un phénomène oscillatoire, on les modifierait certainement en modifiant le régime d'oscillation des canalisations de charge et décharge du disque.

Nous avons alors interposé des résistances liquides sur ces circuits. Elles n'ont pas fait disparaître l'effet ; elles ont seulement diminué beaucoup les perturbations au repos.

En second lieu nous avons mis en parallèle avec les disques une capacité variable. La capacité des disques est de 200 C. G. S. La capacité en parallèle est à lame d'air et peut varier par sixième de 166 à 1000 C. G. S.

Cette fois, les effets observés pendant le mouvement ont notablement diminué. La diminution est sensiblement proportionnelle à la capacité en dérivation sur les disques. En même temps, nous avons constaté une diminution du voltage des disques. Ce voltage est le maximum indiqué par un électromètre relié automatiquement aux disques, au moment où ils sont chargés.

Mais il n'y a pas proportionnalité entre les deux diminutions. Celle de l'effet atteignait 1/3 de la valeur absolue quand le voltage ne variait que de $\frac{1}{10}$.

Seulement nous nous sommes aperçus que les disques ne se déchargeaient plus complètement, et la charge qu'ils conservent est proportionnelle à la capacité mise en parallèle avec eux.

Ceci nous a amené à étudier la durée et le nombre de contacts nécessaires pour décharger complètement un condensateur.

Une tige cylindrique d'ébonite T (*fig.* 1), de $1^m,20$ de longueur, est placée verticalement, de façon qu'une bague de laiton B de 10 millimètres d'épaisseur puisse tomber librement le long de T. A 10 cen-

timètres au-dessus de son extrémité inférieure, on a placé deux balais métalliques C et D, en regard l'un de l'autre, dans le plan diamétral de la tige T. La bague B, en tombant, établira entre C et D un contact dont la durée sera facile à régler d'après la hauteur de la chute.

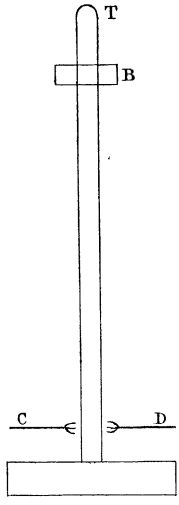

FIG. 1

Le condensateur employé est le même que celui mis en parallèle avec les disques. La source d'électricité est la batterie d'accumulateurs de M. Bouty, dont la capacité peut être considérée comme infinie par rapport à celle du condensateur.

L'expérience était faite comme suit : On mesurait d'abord le potentiel d'un pôle de la batterie, l'autre pôle étant au sol ; une armature du condensateur était reliée au sol et l'autre au balai D ; le balai C pouvait être relié soit au pôle de charge, soit au sol.

Soit d'abord C relié à la batterie, et laissons tomber la bague B ; un contact s'établira entre C et D au moment du passage de B. Sa durée pouvait être réglée pour des valeurs comprises entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{90}$ de seconde.

Après la chute, on mesurait le potentiel communiqué au condensateur. Dans ces conditions, nous avons fait les constatations suivantes :

1° Le potentiel du condensateur est toujours inférieur à celui de la source. Cette différence est inversement proportionnelle à la durée du contact et proportionnelle à la capacité du condensateur.

D'ailleurs, en chargeant le condensateur par un contact prolongé avec la source reliant C au sol et laissant tomber B, on observait le potentiel conservé par le condensateur après ce contact.

2° Le condensateur conserve toujours un potentiel résiduel dont la valeur est directement proportionnelle à la capacité du condensateur et inversement proportionnelle à la durée du contact.

Mais la différence entre le potentiel de la source et celui pris par le condensateur après contact est toujours très supérieure, toutes choses égales d'ailleurs, au potentiel résiduel conservé après décharge.

Ceci explique suffisamment la diminution des effets d'induction en mouvement par la mise en parallèle d'une capacité dans l'expérience Pender. La présence de cette capacité diminue, en effet, la variation de charge à chaque inversion du commutateur et, par suite, les effets d'induction qui sont proportionnels à cette variation ; d'ailleurs les indications de l'électromètre, qui donnent la valeur maximum du potentiel, ne peuvent être sensiblement affectées.

Il résulte de ceci que les effets observés dans l'expérience de Pender semblent bien dus à la charge des disques en mouvement conformément aux prévisions faites pour la convection électrique.

Expériences de vérification sans armature fixe. — Pour éliminer toute perturbation pouvant provenir du rôle, assez mal défini, des armatures fixes, nous avons modifié encore notre dispositif.

Les deux disques de Pender, de 31 centimètres de diamètre, ont été placés en face l'un de l'autre, à 10 millimètres de distance, et disposés de façon à pouvoir tourner en sens inverse, concentriquement à une bobine fixe présentant une ouverture centrale de 34 centimètres de diamètre et de 3 centimètres d'épaisseur. L'armature de la bobine, tout entière en laiton, porte 1300 tours de fil de cuivre rouge d'une résistance totale de 60 ohms.

Le commutateur de Pender permettait de relier cette bobine au galvanomètre, synchroniquement avec la charge ou l'inversion de charge des disques tournants.

Les déviations attendues étaient plus faibles, par suite de la grande diminution de capacité résultant du dispositif. Malgré cela, elles ont été très nettes, et ont présenté, avec les valeurs calculées, un accord satisfaisant.

Nous avons arrêté là nos essais relatifs aux expériences d'induction. Ces expériences ne peuvent, en effet, donner aucun renseignement sur la nature des champs magnétiques obtenus par le mouvement des disques chargés, et il est essentiel de savoir si on a des charges permanentes avec la rotation ou bien de simples impulsions pouvant provenir de différentes perturbations au moment de la charge ou de l'inversion de charge.

Expérience sur l'effet magnétique direct. — Nous avons d'abord utilisé le dispositif de l'expérience d'induction précédente ; la bobine a été enlevée et remplacée par un système astatique enfermé dans un tube métallique disposé de façon que l'aiguille aimantée inférieure se trouve à 1 centimètre au-dessus du bord supérieur des disques, dans un plan également distant de chacun d'eux.

Le tube était soustrait à l'action des courants d'air provenant de la rotation, à l'aide d'une large lame de mica paraffiné, convenablement disposée.

Une spire témoin permettait de mesurer la sensibilité du système ; le spot de celui-ci déviait de 20 millimètres sur une échelle placée à 4 mètres de distance, pour l'inversion d'un courant témoin de 10^{-4} ampères.

Les courants de convection réalisés atteignaient seulement $2{,}5 \times 10^{-5}$; par suite, les déviations attendues atteignaient à peine 5 millimètres.

Par suite de la petitesse de ces effets, l'expérience ne nous a permis de faire qu'un essai qualitatif. Celui-ci a, d'ailleurs, été très net ; à chaque inversion du signe de la charge sur les disques tournants, le système donnait la déviation dans le sens prévu, sans qu'il soit cependant possible de dire si on avait affaire à des impulsions ou à des déviations permanentes.

Il est à remarquer que ce résultat a une assez grande valeur, malgré sa petitesse. Aucun effet perturbateur dû aux armatures ou aux courants pouvant circuler dans les lames mobiles n'est, en effet, à redouter, parce que les premières étaient supprimées, et que les seconds se seraient détruits deux à deux, puisque les disques tournent en sens inverse.

Dans cette expérience, on n'utilise qu'une faible partie de la capacité des disques ; l'aiguille se trouve dans une position très défavorable, parce que les surfaces de niveau magnétique ont une courbure rès accusée près des bords des disques. Enfin on est mal protég é

contre les courants d'air, dont les effets mécaniques perturbateurs sont considérables.

Ces considérations nous ont amenés à revenir au dispositif original de Rowland. Un seul disque tournant dans un plan horizontal a été mis dans une boîte fermée d'ébonite, dont les parois internes, recouvertes de papier d'étain relié au sol, formaient armature, augmentant considérablement la capacité du disque mobile.

Ceci permet de mettre le système astatique très près du disque mobile, dans une région où les lignes de force sont à la fois horizontales et assez constantes; enfin l'effet des courants d'air est entièrement annulé.

On peut alors augmenter la période d'oscillation du système magnétique, sans avoir à redouter autant l'effet des perturbations mécaniques qui viendraient à se produire dans l'intervalle de temps nécessaire au système pour prendre une élongation.

Cette fois les déviations obtenues étaient plus considérables, 20 à 30 millimètres, de l'ordre de grandeur et dans le sens attendus. Mais il n'a pas été possible de vérifier avec netteté si on avait des déviations permanentes ou de simples impulsions.

Pender avait observé dans des expériences antérieures [1], où une stabilité parfaite était réalisée, des déviations nettement permanentes; mais il ignorait à ce moment-là l'existence des effets magnétiques qui se produisent au voisinage de nœuds d'oscillations amorties, tels que les disques, effet que Crémieu a publié depuis [2]. Il n'avait donc pu s'en garantir, et ces oscillations produisent justement des magnétisations, dont les effets peuvent se confondre avec les déviations dues à un champ magnétique permanent.

Ceci nous a conduit à modifier à la fois le mode opératoire et les systèmes de mesures magnétiques employés.

Nouveau mode opératoire. — Dans toutes les expériences faites jusqu'à présent par d'autres expérimentateurs ou par nous-mêmes, on avait cherché à voir des effets magnétiques de la convection au moment où on charge ou inverse la charge des disques déjà en mouvement rapide.

Il est vrai qu'on vérifiait au préalable que la charge ou l'inversion de charge des disques au repos ne produisent aucun effet, à la con-

---

(1) *Phil. Mag.*, t. V, p. 34; 1903.
(2) *C. R.*, t. CXXXV, p. 153; 1902.

dition de mettre des écrans conducteurs convenables. Mais on sait que l'effet de ces écrans est à la fois électrostatique et électromagnétique.

D'autre part, on sait d'abord qu'au voisinage de nœuds d'oscillations, il se produit des effets d'amortissement capables de désaimanter partiellement un aimant; il en résulte des déviations permanentes de la position d'équilibre d'un système astatique.

On ignore d'ailleurs de quelle manière le mouvement du corps qui forme le nœud d'oscillation peut modifier l'amortissement de l'onde; par suite, on ne saurait affirmer qu'un écran, suffisant au repos, le sera aussi quand il y a mouvement.

Il nous est alors apparu que le mode opératoire suivant éviterait tous ces inconvénients.

Chargeons le disque au repos en nous assurant que cette opération n'affecte pas le système magnétique; puis isolons le disque et mettons-le, alors seulement, en mouvement.

Le système magnétique devra, si l'effet de la convection existe, prendre une déviation croissant avec la vitesse, permanente avec elle, et retourner au zéro au moment de l'arrêt. Une mesure électrométrique, faite avant et après le mouvement, permettra d'ailleurs de s'assurer des pertes intervenues.

Comme les systèmes astatiques ordinaires se prêteraient assez mal à cette expérience, nous avons, d'autre part, essayé d'en construire de différents.

Essais avec de nouveaux systèmes magnétiques. — Il est difficile de réaliser, dans la plupart des laboratoires, une stabilité magnétique suffisante pour pouvoir étudier des variations de champs donnant lieu à des couples de 10^{-6} ergs.

On sait de plus que, par sa construction même, un système astatique sensible a toujours un mouvement continu dans une direction déterminée, par suite de la démagnétisation lente et inégale des aiguilles qui le constituent.

Une autre cause d'instabilité provient de ce que la direction de ces systèmes est produite par la différence entre le champ terrestre et celui des aimants compensateurs; tout ce qui viendra modifier l'un ou l'autre de ces champs fera varier la position d'équilibre du système.

En particulier, si le champ à étudier est produit par des phénomènes oscillatoires plus ou moins amortis, l'usage des systèmes

astatiques sera rendu très aléatoire, à cause des démagnétisations qui accompagnent les oscillations amorties, et qui pourront agir aussi bien sur le système que sur les aimants directeurs.

Enfin, dans le cas où le champ à étudier est très faible, il y aurait intérêt à en multiplier l'effet par l'emploi de pôles magnétiques puissants ; or on sait que les conditions d'équilibre des systèmes astatiques sont indépendantes de la valeur des moments des aimants qui les forment.

On peut éviter tous ces inconvénients, sans diminuer la sensibilité nécessaire, en employant un système extrêmement simple.

Il se compose essentiellement d'un petit fléau horizontal, portant à une de ses extrémités un aimant vertical, et à l'autre un contrepoids non magnétique, en laiton par exemple. Le tout est supporté par un fil métallique long et fin, fixé au milieu du fléau. On sait que, lorsque l'axe magnétique de l'aimant sera exactement vertical, le couple auquel cet aimant est soumis dans le champ terrestre sera sans action sur le fil de torsion; le fléau s'orientera alors sous l'action de la seule torsion du fil qui le supporte. Pour régler le système, on commence par remplacer l'aiguille aimantée par une aiguille de forme et de poids identiques, mais en cuivre rouge; on mesure dans ces conditions la durée des oscillations qui se produisent alors sous la seule action de la torsion du fil.

Ceci fait, on remplace l'aiguille de cuivre par l'aimant, la période du système devient beaucoup plus courte en général ; et le système s'oriente dans une position déterminée.

Mais, en déplaçant sur le fléau le contrepoids de l'aimant, on règle facilement la verticalité de l'axe magnétique, et on arrive assez vite à redonner au système la période d'oscillation qu'il avait avec le cuivre. On a alors réalisé un système magnétique, dirigé par un fil de torsion seul.

Avec des systèmes de ce genre, nous avons obtenu de très grandes sensibilités. Par exemple, pour un pôle d'aimant égal à 20 C. G. S., supporté par un fil d'argent de 95 centimètres de long et $0^{mm},025$ de diamètre, on obtenait des déviations de 34 millimètres à 2 mètres de distance pour des variations de champ de l'ordre de 10^{-6} C. G. S. ; la période d'oscillation était voisine de 60 secondes.

Placés dans des écrans convenables, au voisinage immédiat des disques mobiles, ces systèmes se montrèrent tout à fait insensibles à la mise en marche des dynamos motrices et des disques.

Mais un effet inattendu ne nous a pas permis d'en tirer ce que nous espérions. Au bout d'une à deux minutes de rotation des disques au-dessus desquels il est placé, le système prend une déviation qui augmente progressivement et la position d'équilibre du système change lentement, ce qui rend impossible toute détermination.

Nous avons d'abord attribué cet effet à des courants d'air provoqués, à l'intérieur de l'écran qui contient le système, par l'échauffement des plateaux qui servent d'armature fixe au disque tournant. Un échauffement assez notable se produit en effet, par suite des vibrations très intenses auxquelles ces plateaux sont soumis.

Mais le système témoin à aiguille de cuivre ne donnait pas de déviations semblables ; l'effet n'était donc pas attribuable aux courants d'air.

Nous avons pensé qu'il avait une cause magnétique telle que celle-ci : la rotation des disques dorés immédiatement au-dessous du pôle de l'aimant du système provoque, dans la dorure, des courants de Foucault dont la réaction sur le pôle produit soit une démagnétisation lente, soit un changement de la position de l'axe magnétique de l'aimant par rapport à son axe géométrique.

Quoi qu'il en soit, nous avons dû renoncer à ces systèmes.

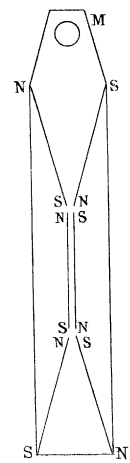

Fig. 2.

Revenant alors aux systèmes ordinaires, nous avons réussi à en construire un, extrêmement sensible, de la manière suivante.

Trois paires d'aiguilles d'acier, très fines et aimantées à saturation, ont été disposées sur une feuille de mica, comme l'indique la *fig.* 2. Ce système a 6 centimètres de longueur et pèse environ 500 milligrammes. Il est suspendu à l'extrémité d'une fibre de cocon de 1 mètre de long, à l'intérieur d'un écran métallique.

Une nappe témoin construite de manière à réaliser une distribution de courant semblable à celle qui existe sur les disques tournants nous a servi à mesurer la sensibilité de ce système. Quand on inverse dans cette nappe, mise à la place du disque, un courant de 10^{-4} ampères, le système prend une déviation totale de 120 millimètres.

Cette sensibilité était plus que suffisante, puisque les débits réalisés dans les expériences de convection, atteignent 3 à 5×10^{-5} ampères.

Mais nous n'avons pu réaliser exactement, avec ce système, le nouveau mode opératoire que nous avons décrit.

En effet, les disques de micanite que nous employons sont magnétiques ; et ils le sont très inégalement suivant leurs différents points. Il en résulte que le système magnétique prend différentes positions d'équilibre, suivant la partie du disque au-dessus de laquelle il se trouve placé.

Mais, si on donne au disque une vitesse suffisante pour qu'il fasse au moins un tour complet pendant la durée d'une oscillation du système, celui-ci prendra une position d'équilibre moyenne qui ne changera plus quand on augmentera sa vitesse.

Nous avons alors opéré comme suit :

Le disque était mis en rotation lente ; on notait la position d'équilibre du système, puis on chargeait le disque ; on notait de nouveau la position d'équilibre, qui, du reste, ne variait pas, grâce aux résistances liquides interposées. On amenait alors la vitesse de rotation à sa valeur maximum, qu'on maintenait quelque temps, on lisait la position d'équilibre du système, puis on revenait à la première vitesse.

Nous avons ainsi constaté les faits suivants :

Le système astatique dévie, quand on augmente la vitesse de rotation, dans le sens prévu pour l'effet magnétique de la convection électrique.

Ces déviations sont permanentes.

Elles s'accordent quantitativement à 10 ou 20 0/0 près avec les déviations calculées.

De l'ensemble des résultats précédents, corroborés par ceux déjà obtenus par M. Pender, nous pouvons conclure :

Un disque chargé, à surface métallique continue, tournant dans son propre plan entre deux armatures fixes, parallèles à ce plan, produit un champ magnétique dans le sens et de l'ordre de grandeur prévu pour l'effet magnétique de la convection électrique :

Il nous restait alors deux questions à résoudre.

1° Les effets magnétiques ainsi obtenus sont-ils vraiment dus à l'entraînement d'une charge par les surfaces métalliques mobiles, ou bien peuvent-ils être attribués à des courants de conduction, ouverts ou fermés, produits dans les surfaces par le mouvement relatif des disques mobiles et de leurs armatures?

2° Quelle cause avait caché à Crémieu les effets constatés dans les expériences de Pender seul, et dans les expériences faites en commun et que nous venons de décrire?

Expériences sur l'entraînement de la charge par des surfaces métalliques continues. — Pour trancher la première question, nous avons d'abord repris une expérience dont l'idée est due à Helmholtz, et le premier essai de réalisation à Rowland.

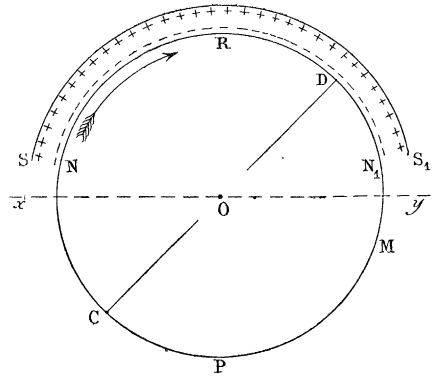

Fig. 3.

Considérons une couronne circulaire, plane, conductrice et continue, représentée sur le schéma cylindrique (*fig.* 3) par le cercle OM. Cette couronne peut tourner dans le sens de la flèche, en face d'un secteur circulaire SS_1 correspondant à une partie $\frac{1}{n}$ de la circonférence. Soit e la distance qui sépare le plan OM du plan SS_1, Y la vitesse linéaire de rotation de OM. Supposons enfin SS_1 chargé à un potentiel positif, K par exemple, et OM relié au sol d'une façon permanente.

En arrivant en face du bord S, chaque élément *ds* de OM se chargera régulièrement par influence. Si les hypothèses précédemment faites sont confirmées, cet élément devra entraîner sa charge avec lui. Cette charge se déplacera donc par rapport au champ électrique qui existe entre SS_1 et NN_1 et qui reste fixe dans l'espace.

Quand *ds* arrive en face de S_1, l'influence électrique cesse de retenir la charge sur lui; ceci étant vrai pour tous les éléments de OM, il va résulter du mouvement une différence de potentiel constante entre les points N et N_1 de la couronne conductrice ; des courants de conduction devront donc s'y développer ; ils se distribueront d'après les résistances relatives des secteurs NRN_1 et NPN_1.

Une aiguille aimantée placée au-dessus de R sera, par suite, soumise, d'une part, aux effets magnétiques de la convection, qui a lieu dans le sens de la flèche ; d'autre part, à ceux d'un courant de conduction circulant en sens inverse. Placée au-dessus de P, cette aiguille serait soumise aux effets d'une conduction seulement. D'ailleurs la somme des intensités des courants de conduction NRN_1 et NPN_1 doit être égale à l'intensité i de la convection.

En appelant σ la densité superficielle électrostatique sur OM, on sait que, pour une vitesse Y, l'intensité correspondant à 1 centimètre de largeur serait :

$$i = \sigma Y.$$

D'ailleurs :

$$\sigma = \frac{k}{4\pi\rho} \qquad \text{et} \qquad i = \frac{kY}{4\pi\rho}.$$

Soit R la résistance ohmique totale de la couronne conductrice ; la résistance NRN_1 sera par suite $\frac{R}{N}$ et celle de NPN_1 $R\left(\frac{n-1}{n}\right)$.

Soit $+i$ l'intensité du courant de convection ; l'intensité de la conduction en N_1RN sera évidemment :

$$i_1 = -i\left(\frac{n-1}{n}\right).$$

Le champ magnétique, à une distance au-dessus de R grande par rapport à la distance e, sera dû à la différence entre i et i_1, c'est-à-dire à :

$$i\left(1 - \frac{n-1}{n}\right) = +\frac{i}{n}.$$

On verrait de même que, au-dessus de P, on aurait un champ proportionnel à $-\frac{i}{n}$.

Ainsi un système astatique placé au-dessus de P ou de N devra montrer des effets magnétiques égaux et de sens contraire.

Rowland avait essayé cette expérience; mais la petitesse des effets attendus ne lui avait pas permis de les observer avec netteté.

Nous l'avons reprise, en donnant à $\frac{1}{n}$ la valeur $\frac{1}{2}$. La couronne conductrice mobile était constituée par une dorure de 5 centimètres de large, et d'un rayon moyen de 145 millimètres, dorure faite sur un disque d'ébonite.

L'intensité calculée pour la convection atteignait 4×10^{-5} ampères. Les déviations d'un système astatique placé au-dessus de la région P ont été dans le sens prévu et en accord quantitatif suffisant avec le calcul; cet accord n'est susceptible que de l'approximation habituelle dans ces expériences, c'est-à-dire 10 à 15 0/0.

Mais, en modifiant un peu l'expérience, nous avons pu mesurer directement et avec une grande précision l'intensité de la convection.

En effet, si nous interposons entre les points N et N_1 un galvanomètre dont la résistance soit du même ordre que celle des parties NRN_1 ou NPN_1 de la dorure, nous aurons dans ce galvanomètre une déviation, qui sera très facilement mesurable, puisque nous avons vu qu'elle sera une fraction notable de la convection, c'est-à-dire, dans cette expérience, de l'ordre de 10^{-5} ampères.

D'ailleurs on peut faire avec des feuilles d'or collées sur l'ébonite des dorures très minces, présentant une résistance de 4 à 6 ohms par centimètre carré. Sur notre disque, la résistance d'une moitié de la couronne, de 5 centimètres de large, était de 6 ohms.

Nous avons, d'autre part, employé un galvanomètre à cadre dont un circuit présente une résistance de 4, ohms 38 et est sensible à 10^{-7} ampères.

On voit que, pour une convection de 4×10^{-5} ampères, la dérivation qui traversera le galvanomètre sera de l'ordre de $2,2 \times 10^{-3}$ ampères, et les déviations résultantes seront d'environ 220 millimètres, c'est-à-dire susceptibles d'être mesurées avec une grande précision.

Dans une première expérience, nous avons placé deux balais métalliques fixes frottant contre la couronne mobile au niveau de N et N_1.

Mais les frottements du disque non chargé contre ces balais suffisaient à produire des déviations de près de 100 millimètres. D'autre part, la dorure était rapidement arrachée, la résistance augmentait très vite, et tout ce que ce procédé a permis d'obtenir est un résultat qualitatif grossier.

Mais nous avons pu réaliser des mesures précises en modifiant encore un peu l'expérience, de manière à utiliser des contacts très simples et excellents, dont voici le principe :

Aux extrémités A, A de l'axe mobile avec lequel on veut prendre contact (*fig.* 4), on dispose deux fils a, a de cuivre rouge ou de platine convenablement isolés et coïncidant exactement avec l'axe de rotation ; cette coïncidence s'obtient du reste très simplement en mettant l'axe en rotation rapide, et étirant alors légèrement entre les doigts le fil, qui doit être recuit au préalable.

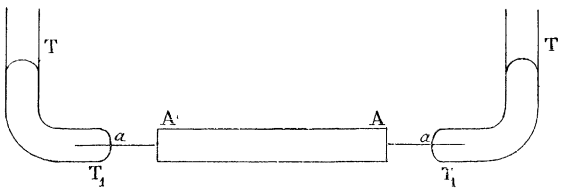

FIG. 4.

D'autre part, on dispose deux tubes de verre tels que T, T_1, recourbés et effilés en T_1, de façon à présenter un orifice de diamètre un peu supérieur à celui du fil aa. On place ces tubes de façon que les fils a, a tournent dans l'orifice T_1 sans toucher. Si alors on introduit du mercure, celui-ci ne coulera pas, par suite de la petitesse des orifices en T_1, et d'ailleurs on pourra régler facilement la pression du contact en faisant varier le niveau du mercure en T.

Si les fils a sont petits, on peut se contenter de tubes de verre droits qu'on remplit de mercure et qu'on ferme d'un côté.

Dans tous les cas, on obtient, par ce procédé, des contacts qui ne présentent aucun accroissement sensible de résistance entre le repos et le mouvement.

Nous avons, par exemple, mesuré la résistance de la dorure du disque mobile d'abord au repos, puis en mouvement. Nous n'avons trouvé, en prolongeant les mesures pendant une heure, aucune autre

variation que celle due à l'échauffement des bobines du pont de Wheatstone et qui atteignait quelques centièmes d'ohm.

Ceci posé, reprenons notre dorure OM (*fig.* 3) et fixons sur elle, en deux points C, D diamétralement opposés, deux contacts que nous ferons aboutir, d'autre part, aux fils *a*, *a* fixés sur l'axe, et communiquant avec le galvanomètre de mesure.

Si nous faisons tourner OM_1 et que nous chargions SS_1, nous allons avoir dans la dorure mobile des conductions distribuées comme il a été dit. On voit que, dans les deux demi-couronnes limitées par les contacts C et D, on aura alternativement des courants égaux et de sens contraires, dont la période sera égale à la vitesse de rotation du disque. Dans le galvanomètre en dérivation sur CD, on n'aura donc aucun courant. Mais disposons sur le circuit de ce galvanomètre un interrupteur actionné par un excentrique placé sur l'axe AA lui-même, et disposé de façon à fermer le circuit pendant une demi-période seulement.

Si cette période coïncide avec celle pendant laquelle le diamètre CD tournera de 180° à partir de la position perpendiculaire à XY, la différence de potentiel entre les points C et D passera, pendant cet intervalle, de 0 à 0 avec un maximum au moment où CD est parallèle à XY.

On aura donc un courant au galvanomètre. Si on décale l'excentrique de 90°, on voit qu'on n'aura plus de courant, parce qu'alors la différence de potentiel entre C et D passe, pendant la demi-période que dure le contact, de la valeur $-e$ à la valeur $+e$.

Entre ces deux positions on pourra avoir toutes les valeurs intermédiaires. Nous avons effectué, dans ces conditions, des mesures qui nous ont donné un accord à 2 0/0 près avec le calcul ; résultat très satisfaisant, si on songe aux approximations nombreuses qu'on est obligé de faire dans les calculs, dont les constantes (densité superficielle électrostatique, résistances relatives des différentes parties du circuit, vitesse de rotation) ne peuvent être connues avec une approximation bien grande.

Ces résultats nous permettent donc de conclure qu'*une surface métallique chargée, mobile dans son propre plan en présence de surfaces métalliques parallèles fixes, entraîne sa charge avec elle.*

Expériences avec des disques à secteurs. Forme courants ouverts. — Ayant ainsi résolu par l'affirmative la question de l'existence d'un effet magnétique produit par la rotation de disques continus char-

gés, et vérifié directement l'entraînement de la charge, nous sommes revenus aux expériences faites avec des disques à secteurs.

Dans le courant de l'année dernière, Crémieu [1] avait obtenu, avec des disques à secteurs isolés, des effets magnétiques très irréguliers et sans rapport quantitatif avec les débits qui, dans ces expériences, étaient directement mesurés.

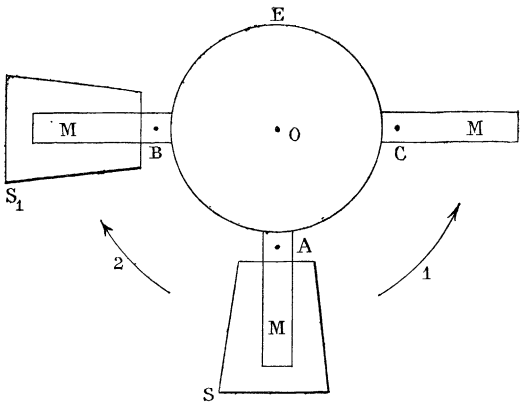

Fig. 5.

L'appareil se compose d'une couronne d'ébonite (*fig.* 5) de 24 centimètres de diamètre portant 18 secteurs de micanite de 13 centimètres de longueur, séparés les uns des autres par 2 centimètres d'air. Ces systèmes étaient dorés sur une largeur de 5 centimètres à partir de leur périphérie.

Les secteurs mobiles M passent entre deux secteurs fixes S chargés, et touchent en même temps un balai A relié au sol; ils se chargent donc par influence; puis ils abandonnent le balai A, sortent du condensateur formé par le secteur S et viennent passer sous le système astatique. Ils rencontrent ensuite un second balai B relié au sol, sur lequel ils se déchargent. En plaçant un galvanomètre entre A et B et le sol, on peut mesurer le courant de charge et celui de décharge.

Certains phénomènes, observés d'abord par Crémieu [1] sur les diélectriques solides, et sur lesquels nous reviendrons plus loin, nous ont amenés, dans nos essais en commun, à employer des secteurs de

(1) Crémieu, *C. R.*, t. CXXXVI, p. 27; 1902; — et *J. de Phys.*, *loc. cit.*

micanite entièrement dorés de façon à éliminer toute action des charges qui pénètrent dans la micanite nue.

D'autre part, il est nécessaire de protéger le tube métallique qui contient le système astatique contre les aigrettes qui jailliraient entre ce tube relié au sol et les secteurs mobiles qui sont à un très haut potentiel.

Pour cela, Crémieu employait un tube de mica paraffiné directement fixé sur le tube métallique. Ce dispositif a deux inconvénients : 1° la largeur du fond du tube étant faible relativement à celle des secteurs mobiles, il en résulte, au moment où ces secteurs arrivent sous le tube, un accroissement considérable de la capacité pour les points du secteur mobile en regard, et par suite un afflux de la charge en ce point, avec courants de conduction distribués d'une façon qu'il est bien difficile de connaître, et qui peut agir sur le système astatique ;

2° Par suite des phénomènes présentés par le diélectrique et sur lesquels nous reviendrons, le mica protecteur du tube est soumis à de fortes pénétrations de charges, d'où résultent des perturbations considérables.

Pour éviter ces inconvénients, nous avons laissé le tube nu, mais nous avons interposé, entre lui et les secteurs mobiles, une large lame d'ébonite paraffinée qui ne touchait ni le tube, ni les secteurs.

Dans ces conditions, le passage des secteurs chargés sous le système astatique a produit des déviations du système en accord qualitatif avec les effets attendus de la convection, et présentant d'ailleurs la proportionnalité voulue au potentiel de charge et à la vitesse.

Quant à l'accord quantitatif, il n'est pas très satisfaisant; mais, dans cette forme d'expérience, on connaît trop mal la distribution électrique sur les secteurs pour pouvoir faire un calcul bien approché.

D'autre part, comme le mouvement des secteurs a lieu à l'air libre, on ne peut éliminer complètement l'action des courants d'air, il en résulte une instabilité du système astatique qui ne permet pas des lectures bien exactes.

Il restait alors à trouver la cause des résultats négatifs répétés des expériences de Crémieu.

Différence essentielle entre les expériences positives et négatives. — Une analyse approfondie des détails des expériences négatives nous

a fait voir qu'elles différaient toutes des expériences positives en ce que les dorures chargées mobiles et leurs armatures fixes, quand elles en avaient, étaient toujours recouvertes de couches minces de caoutchouc.

Crémieu s'était en effet attaché à réaliser des débits élevés. Pour y arriver, il avait rapproché autant que possible les disques tournants de leurs armatures fixes, et les couches de caoutchouc qui recouvraient les uns et les autres étaient destinées à éviter les aigrettes. *A priori* on ne pouvait prévoir aucun inconvénient résultant de la présence de ces couches; on pouvait même espérer qu'elles diminueraient les pertes et, aussi, qu'elles assureraient un meilleur entraînement de la charge; celle-ci se porte, en effet, sur la surface diélectrique en contact avec le conducteur, et les glissements en étaient rendus plus difficiles.

Malgré ces considérations, nous avons essayé d'abord de déposer des couches de caoutchouc sur les secteurs mobiles de l'expérience précédente. Nous avons aussitôt constaté une diminution considérable des effets magnétiques, sans que les débits mesurés présentent une diminution correspondante.

De plus l'allure des déviations du système astatique changeait. Nettes au début, pour les deux signes de la charge, ces déviations diminuaient rapidement et, au bout de quelques inversions, devenaient à peine visibles lorsque les secteurs mobiles étaient chargés positivement. La diminution était moindre pour les charges négatives.

D'ailleurs les débits présentent des particularités curieuses. Ils cessent d'être proportionnels aux potentiels de charge des secteurs fixes. La proportionnalité, réalisée entre 1000 et 2000 volts, cesse au delà de cette valeur; les débits sont alors plus faibles que ce qu'ils devaient être, et, à partir d'une valeur déterminée du voltage, ils restent les mêmes quand on augmente le potentiel et quelle que soit cette augmentation.

Ces faits nous ont immédiatement éclairés sur la cause des résultats négatifs. D'ailleurs, en 1900, dans la première expérience de courant ouvert qu'il avait faite, M. Crémieu avait aperçu une partie de ces phénomènes. Mais, pressé par la réalisation directe des expériences de convection, il ne s'y était pas arrêté.

Nous avons alors entrepris une étude systématique du rôle des diélectriques, étude que le temps très court dont nous disposions ne nous a malheureusement pas permis de pousser bien loin.

En premier lieu, au point de vue des effets magnétiques de la convection, nous avons vérifié les points suivants :

1° En recouvrant les disques mobiles continus de couches de caoutchouc, les effets magnétiques diminuent et présentent les dissymétries de signe observées avec les secteurs mobiles ; dans ces expériences, on ne peut que mesurer le potentiel sur les disques en mouvement et on ne trouve pas de variation corrélative du potentiel et des effets magnétiques ;

2° Des couches de mica paraffiné produisent les mêmes diminutions que le caoutchouc ;

3° Dans l'expérience d'induction de M. Pender, nous avons vérifié que la présence du mica diminue les effets observés dans de notables proportions.

C'est ainsi que, dans une série d'expériences, on a observé les déviations suivantes :

Disques nus, armatures nues.....	140	millimètres
Disques recouverts de mica, armatures nues.	100	—
Disques et armatures recouverts de mica...	15	—

Ces faits montrent clairement la cause expérimentale des résultats négatifs de Crémieu. Mais ils ne l'expliquent pas, et le rôle du diélectrique semble difficile à démêler *a priori*.

Des faits observés en 1900 et aujourd'hui, il paraît possible de conclure que, lorsque les diélectriques solides ont été soumis à des pénétrations de charge importantes, ils se comportent comme s'ils supprimaient l'influence électrostatique entre les conducteurs qu'ils séparent.

D'ailleurs, pour chaque nature de diélectrique, la pénétration de charge et l'effet de suppression d'influence qui en résulte se produisent pour un voltage critique bien déterminé du conducteur chargé qui touche le diélectrique, sans que la valeur du champ semble intervenir.

Pour le mica, on a pu même déterminer avec une précision suffisante que le voltage critique est voisin de 4300 volts.

Pour le soufre, il est de 800 à 12000 volts ; supérieur à 12000 volts pour l'ébonite, le verre et la paraffine.

Dans les expériences de convection à résultats négatifs, les diélectriques ont probablement agi en empêchant la charge des surfaces métalliques qu'ils recouvraient ou, peut-être, par les charges très

importantes qui avaient pu les pénétrer. Mais ce n'est qu'une supposition, et seule une étude systématique des diélectriques pourra éclairer ce point délicat.

Étude des débits dans les expériences de courants ouverts. — Pour compléter notre travail, nous avons entrepris une étude des débits réalisés dans les expériences à forme de courants ouverts, dans le but, d'une part, de vérifier si la troisième condition fondamentale posée au début de cet article est bien réalisée; d'autre part, pour éclairer un peu le rôle des diélectriques.

L'appareil employé (*fig.* 5) est le disque à noyau d'ébonite OE, portant 18 secteurs périphériques M. Ceux-ci viennent passer entre les secteurs fixes S et touchent en même temps un balai A ; puis, suivant le sens de la rotation, ils iront se décharger sur le balai C, ou bien d'abord passer entre les 2 secteurs supplémentaires S_1 et se décharger ensuite sur C.

Les secteurs S_1 forment avec un secteur M une capacité égale à celle formée par les secteurs S avec M. Ces secteurs S_1, reliés à un électromètre, nous permettront de voir ce qui se passe, au point de vue électrostatique, dans l'air traversé par les secteurs chargés mobiles.

Une expérience se compose donc, d'une part, de la mesure des débits de charge et de décharge ; d'autre part, de l'observation de l'électromètre relié à S_1.

Voici les résultats obtenus :

1° *Secteurs mobiles* M *nus. Secteurs* S *nus.* — *a* — Quel que soit le signe de la charge, les *débits de décharge* sont le plus souvent *supérieurs* aux débits de charge d'une quantité qui varie, mais peut atteindre $\frac{1}{7}$ de la valeur absolue de la charge.

Cette dissymétrie est plus forte quand les secteurs mobiles sont positifs. On pourrait penser que le débit de décharge en C est plus grand que le débit de charge en A, à cause d'une conductibilité directe intervenant entre les secteurs fixes et les secteurs mobiles, ce qui amènerait sur M un supplément de charge ne passant pas par le balai A. Mais cette explication ne s'accorde pas avec le montage de l'appareil, qui exclut la possibilité d'une conduction directe de S à M.

b. — Sur les secteurs S_1, on observe les particularités suivantes :

Supposons le disque en rotation dans le sens de la flèche 2, les

secteurs S_1 sont reliés à un électromètre, et tout le reste de l'appareil est au sol. Quelle que soit la durée de la rotation et sa vitesse, on ne constate aucune déviation de l'électromètre.

Si on vient alors à charger les secteurs S, les secteurs M passent chargés sous S_1. Aussitôt l'électromètre prend une brusque déviation, mais on s'aperçoit que cette déviation augmente peu à peu, d'autant plus vite que la rotation est plus rapide ; on peut ainsi atteindre, à l'électromètre, un potentiel supérieur à celui auquel on a porté les secteurs S. De plus le signe de la charge à l'électromètre est le même que sur les secteurs mobiles ; le signe de la charge sur S_1 est donc inverse, ce qui est normal.

Mais, si on arrête le disque après avoir remis S et M au sol, l'électromètre et les secteurs S_1 conservent une charge, qui est du même signe que celle que portaient les secteurs mobiles.

Tout semble donc se passer comme si la rotation des secteurs chargés s'accompagnait de la production, dans l'air environnant, d'électricité de même signe que celle qui est entraînée ; et le fait que les débits de décharge sont plus forts que les débits de charge serait en accord avec cette production apparente.

On peut rapprocher de ces observations le fait suivant : Quand on étudie la perte par l'air d'un disque chargé, on trouve que cette perte est beaucoup plus faible quand le disque est maintenu en mouvement rapide. Et ceci a été déjà observé par Matteucci, dans des conditions très nettes [1].

Pour le moment, nous signalons ces faits, sans les interpréter. Il est impossible de dire, en particulier, s'ils doivent être attribués au mouvement lui-même, ou bien aux brusques variations de champ auquel l'air se trouve soumis au moment où il est traversé par les secteurs.

D'ailleurs, nous avons essayé de placer, dans l'air qui sépare les armatures d'un disque et ce disque même, de petits balais métalliques reliés à un électromètre. Celui-ci n'amène aucune production de charge quand on fait tourner le disque chargé.

2° *Secteurs mobiles* M *nus. Secteurs fixes* S *recouverts de mica.* — On constate entre les débits de charge et de décharge la même dissymétrie que dans le cas précédent, et dans le même sens.

D'autre part, à partir d'un voltage voisin de 3000 volts aux sec-

---

(1) *Ann. de Chimie et de Phys.*, 3e série, t. XXVIII, p. 385.

teurs fixes, le débit de charge ne croît plus proportionnellement au voltage des secteurs inducteurs. Quand ce voltage atteint 4000 à 4500 volts, le débit semble atteindre un maximum, qu'une augmentation même très grande du voltage ne lui fait pas dépasser.

En outre, quand, après une durée de charge de quelques secondes, on remet les secteurs fixes au sol, on constate un débit persistant, qui est en sens inverse du débit immédiatement précédent, et se maintient pendant plusieurs heures, sans diminution notable.

Ces phénomènes sont d'ailleurs très irréguliers; l'ordre de grandeur des débits supplémentaires paraît dépendre des états antérieurs du mica et de la durée des expériences.

Sur la trajectoire des secteurs mobiles, on constate les mêmes phénomènes que précédemment.

3° *Secteurs mobiles et secteurs fixes recouverts de mica.* — Tant qu'on reste au-dessous de 2000 volts, on ne constate pas d'anomalie.

Au-dessus de 2000 volts, les débits de charge deviennent notablement supérieurs aux débits de décharge. La dissymétrie peut atteindre 30 0/0.

Quand on arrive au voisinage de 4500 volts, la proportionnalité des débits au voltage cesse, comme dans le cas précédent.

Il y a encore des débits supplémentaires, après remise au sol des secteurs fixes. Ces débits peuvent atteindre 50 0/0 de la valeur des débits obtenus avec les secteurs fixes chargés. Mais ils ont ceci de particulier que, pour les secteurs mobiles chargés positivement, ils sont en sens inverse des débits directs; tandis qu'ils sont dans le même sens que ces débits directs si les secteurs mobiles sont négatifs.

Des corps métalliques, placés sur la trajectoire des secteurs mobiles recouverts de mica, n'accusent *aucune charge par influence.* On constate ici, plus encore que dans le cas précédent, les irrégularités dues aux états antérieurs des diélectriques et à la durée des expériences.

Tout ceci montre combien ces phénomènes sont complexes, et qu'il faudra une très longue étude pour les tirer au clair.

Il y a certainement autre chose qu'une pénétration de charge au sens habituel de ce mot.

Ce qui le prouve plus particulièrement, c'est que, dans le 3e cas que nous avons cité, on obtient les débits supplémentaires seulement lorsque les deux balais A et C sont en contact avec les secteurs. Si on supprime l'un des balais, on n'a plus de débit supplémentaire.

Si on avait une pénétration de charge, celle-ci se restituerait peu à peu à travers le balai maintenu, sans que la présence de l'autre fût nécessaire.

Il nous semblerait plutôt que le mécanisme de ces débits supplémentaires est analogue à celui de l'électrophore; le mica de nos secteurs aurait été, en quelque sorte, électrolysé.

Il est essentiel, en tous cas, au point de vue des théories actuelles, de savoir pourquoi le diélectrique diminue ou supprime l'effet magnétique et sous quelle forme les charges se trouvent, après pénétration dans la masse du diélectrique.

Conclusions. — Quoi qu'il en soit, tout ce qu'on peut dire pour le moment de ces phénomènes accessoires, c'est qu'ils ne permettent pas d'affirmer d'une manière complète que la troisième condition fondamentale d'une expérience de convection correcte se trouve exactement remplie.

Mais il est légitime de tirer les conclusions suivantes :

1° Un disque métallique continu chargé, tournant dans son propre plan en face d'armatures fixes, entraîne sa charge avec lui ;

2° L'entraînement de cette charge produit un champ magnétique dans le sens prévu pour l'effet de la convection électrique et d'accord à 10 0/0 près avec le calcul ;

3° Des secteurs chargés, isolés et mobiles dans leur plan, sans interposition d'aucune armature fixe, produisent des effets magnétiques dans le sens et de l'ordre de grandeur prévus pour la convection électrique.

Il ne nous appartient pas de dire si ces effets magnétiques sont bien réellement ceux prévus pour une convection d'électricité dans le sens où Faraday et Maxwell entendaient cette expression, ni de décider s'ils sont d'accord avec les hypothèses fondamentales des théories actuelles.