

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 9 (1866-1868)
Heft: 54

Artikel: Recherches sur les courants électriques terrestres
Autor: Dufour, L.
Kapitel: VII: Causes des courants observés dans le circuit Berne-Lausanne
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-255734>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

sonnement appliqué à l'essai *b)* du 12 juillet, où l'aiguille a aussi immédiatement quitté le 0° et s'est portée à l'E., montre que $\frac{1}{4}$ de seconde après l'interruption du courant de la pile il n'y avait pas une polarisation égale à $\frac{1}{61}$ du courant qui venait de parcourir le circuit pendant 10 minutes. L'essai *a)* du 17 mai montre qu'il ne s'est pas produit un polarisé égal à $\frac{1}{100}$ du courant de la pile, etc.

30. On sait que l'intensité d'un courant polarisé dépend de l'intensité du polarisant et aussi du temps pendant lequel il a agi. En tenant compte de ce fait et des résultats des essais rapportés et discutés ci-dessus, on peut, je pense, conclure que *les courants de polarisation ne jouent aucun rôle important dans les résultats des observations rapportées plus haut, soit qu'il s'agisse des dérivations télégraphiques presque instantanées, soit qu'il s'agisse des courants naturels du circuit dont l'intensité était toujours très inférieure à celle qui a été employée dans les essais précédents* (¹²).

VII. Causes des courants observés dans le circuit Berne-Lausanne.

31. Les développements qui précèdent n'ont contribué que d'une façon indirecte à éclaircir la question de la *cause* des courants observés dans le circuit Berne-Lausanne. Il résulte de ces développements que ces courants sont, dans la grande majorité des cas, sans rapport avec les transmissions télégraphiques, qu'ils ne sont point dus à une influence thermo-électrique et enfin qu'ils ne peuvent pas être considérés comme dus, partiellement, à des effets de polarisation.

La cause d'un courant dans le fil Berne-Lausanne est, d'une façon toute générale, la différence de tension entre les deux points

(¹²) Cette conclusion ne s'applique naturellement qu'au circuit qui a servi aux présentes observations. Dans d'autres circonstances, il peut certainement y avoir des courants de polarisation, même avec des plaques plongeant dans le sol. M. Matteucci les a observés avec des plaques de cuivre plongeant dans deux puits.

J'espère pouvoir publier prochainement une Note sur ce point particulier. Des essais nombreux, faits avec des plaques de fer et de cuivre plongées dans le sol à de faibles distances, m'ont fourni des courants de polarisation très prononcés et souvent très intenses. Les résultats négatifs, présentés par la ligne Lausanne-Berne, tiennent très probablement à la trop grande résistance du circuit.

où le circuit se relie avec le sol. Mais d'où provient cette différence de tension ? On peut, ce me semble, indiquer trois causes possibles :

a) En premier lieu, une action électro-chimique sur les plaques plongées dans le sol à Berne et à Lausanne. Ces plaques en tôle, placées dans un terrain plus ou moins humide, sont manifestement le siège d'une lente action chimique et il est assez probable que, dans un avenir prochain, ce fer mince sera entièrement oxydé. Or, il n'est guère admissible que l'action chimique soit identique aux deux extrémités de la ligne et par conséquent un courant doit se produire allant du fer le moins fortement attaqué à celui qui l'est davantage.

b) Une seconde cause possible de différence de tension tient à ce que l'on pourrait nommer l'influence atmosphérique. — L'électricité de l'atmosphère doit produire, dans le sol, une induction de nom contraire. Or, il est extrêmement probable que cet état électrique de l'atmosphère n'est pas le même, à chaque instant, aux deux extrémités de la ligne. Les différences doivent même être fort variables suivant l'état de l'air, l'absence ou la présence de la vapeur d'eau, la hauteur et la nature des nuages, etc. etc. Il peut donc résulter, de cette circonstance-là, une tension électrique inégale, dans le sol, à Berne et à Lausanne et par conséquent un courant dans le fil.

c) On admet généralement, de nos jours, qu'il existe de grands courants électriques terrestres, circulant près de la surface du sol et embrassant une portion considérable de notre globe. L'action du soleil sur notre terre est considérée comme une des causes de cette circulation électrique⁽¹³⁾. Une autre cause est la recombinaison de l'électricité positive de l'air avec la négative du sol, recombinaison qui, dans le voisinage des pôles, donne lieu au brillant phénomène de l'aurore polaire. — Lorsqu'on tient compte des observations faites plusieurs fois déjà lors des aurores boréales, si bien exposées et discutées par M. de la Rive, il est difficile de ne pas admettre l'existence de ces courants terrestres⁽¹⁴⁾. Les nom-

(13) On sait que l'influence électrique ou magnétique du soleil sur notre terre est considérée comme fort probable par un grand nombre de physiciens. La relation qui existe entre les variations diurnes de la déclinaison magnétique et les taches solaires peut être invoquée comme preuve de cette influence. — On a remarqué d'ailleurs aussi que, par le fait de la rotation de notre globe, et sous l'influence du soleil ou de la lune agissant comme corps magnétiques, il peut se développer sur notre terre des courants induits. Voir, entr'autres, sur ce point les opinions de M. Lamont qui attribue au soleil la propriété de déterminer sur la terre une sorte d'onde électrique marchant de l'Est à l'Ouest. Ces opinions sont formulées en quelques conclusions très nettes dans le *Wochenbericht der Münch. Sternwarte*, n° 28, Janvier 1866.

(14) Je dois avouer cependant que cette notion de courants électriques cir-

breux faits, signalés souvent dans les circuits télégraphiques, ne semblent plus guère devoir laisser de doute à cet égard.

32. On peut se demander quelle est, de ces trois causes, celle qui a produit les courants observés sur la ligne Berne-Lausanne.

Il est probable que l'état électrique de ce circuit était, dans la plupart des cas si ce n'est toujours, un résultat complexe de ces trois influences réunies. — L'action électro-chimique aux deux extrémités produisait probablement un courant dirigé toujours dans le même sens et passablement constant. Les plaques étant, en effet, à environ deux mètres au-dessous de la surface du sol, ne peuvent guère subir des actions bien variables d'un moment ou même d'un jour à l'autre et, en tous cas, il me semble impossible d'attribuer à une variation dans l'action chimique ces changements presque continus et souvent fort rapides que le courant subissait.

On peut remarquer d'ailleurs que des plaques métalliques, installées dans le sol à une *petite distance* les unes des autres, donnent lieu à des courants, mais à des courants *très constants*. J'ai observé, pendant plusieurs semaines, les effets produits par deux plaques de fer et une de cuivre placées seulement à quelques mètres les unes des autres. Ces trois conducteurs, reliés deux à deux, fournissent des courants très prononcés; mais ces courants n'éprouvent que des variations insignifiantes d'un jour à l'autre ou même d'une semaine à l'autre. Ainsi, entre les deux plaques de fer, il n'y a souvent pas eu $\frac{1}{2}^{\circ}$ de variation durant toute une semaine. Il est extrêmement probable que si, dans ces

culant dans le sol demeure pour moi enveloppée encore de quelque obscurité et cela pour les deux motifs suivants :

L'opinion généralement admise aujourd'hui, c'est que le globe terrestre ne peut en aucun cas être comparé à un conducteur ordinaire. Lorsque deux pôles opposés d'une pile sont mis en relation avec deux points différents de la terre, on admet que l'électricité s'écoule en quelque sorte de part et d'autre dans le sol et on ne croit pas que le circuit se ferme, se complète à travers la terre elle-même. Si cette manière de concevoir le rôle de la terre est exacte, n'y a-t-il pas quelque difficulté à se représenter ces courants électriques, circulant dans le sol sur des grandes étendues ?....

D'une autre part, il résulte d'expériences nombreuses, et entr'autres des beaux travaux de M. Matteucci, que lorsqu'on plonge les deux pôles d'une pile dans des points suffisamment éloignés l'un de l'autre, la résistance est nulle entre ces points-là. En d'autres termes, la partie de la terre interposée entre les deux électrodes se comporte comme un conducteur absolument sans résistance. Dès qu'il en est ainsi — si même on admet l'existence d'un courant qui se propage dans le sol — peut-on concevoir qu'il soit possible d'obtenir une dérivation de ce courant dans un fil extérieur dont la résistance est en quelque sorte infinie, comparée à celle du terrain ?....

On sait que des considérations analogues à celles qui précèdent ont porté M. Lamont à penser que nos circuits extérieurs ne peuvent déceler que les *variations* du courant terrestre. (Voir *Archives*, décembre 1861.)

conditions, l'action électro-chimique produit un courant aussi constant, il doit en être sensiblement de même pour les deux plaques installées à Lausanne et à Berne.

On peut donc, je pense, considérer l'action chimique que subissaient les deux extrémités du circuit Lausanne-Berne comme une cause constante de production de courant, cause à laquelle venaient s'ajouter l'action inductrice de l'atmosphère et celle des grands courants électriques terrestres.

Ces deux dernières influences ont introduit l'élément variable dans le phénomène dont il s'agit. — La variabilité des courants généraux a été constatée déjà bien des fois lors des aurores boréales ; elle a souvent été assez grande pour que, en quelques minutes, il y eût un changement considérable dans l'intensité ou même dans le sens des courants, ainsi que cela résulte des observations de MM. Walker, Hipp, Matteucci. etc. Il est donc probable que, du plus au moins, cette variabilité existe toujours et elle a sans doute une large part dans les mouvements incessants de l'aiguille du galvanomètre. L'action inductrice de l'atmosphère doit être aussi éminemment changeante et il se peut fort bien que son effet se fasse sentir, non seulement aux deux extrémités de la ligne, mais aussi dans l'espace intermédiaire. Un nuage électrique, par exemple, doit agir par induction sur le fil lui-même et son influence doit donner lieu à des courants. En vertu de ce dernier fait, une ligne sera, en moyenne, d'autant plus influencée par l'action atmosphérique qu'elle sera plus longue ; sous ce rapport, le fil tendu entre Lausanne et Berne, sur une étendue de 97,000^m, était évidemment fort exposé à être, tantôt ici, tantôt là, soumis à une action inductrice de l'atmosphère ou des nuages. Cela est d'autant plus probable que pendant une partie de son trajet (environ 32 kilomètres) le fil s'élève de plus en plus et atteint un point culminant de 295^m au-dessus de Lausanne pour s'abaisser de nouveau lentement jusqu'à Berne.

L'opinion que j'énonce ici, quant à l'influence de la plus grande longueur de la ligne, n'est pas conforme à celle du R. P. Secchi ⁽¹⁵⁾ qui pense que les influences locales diminueront lorsque la distance des stations extrêmes augmentera et qui indique les longueurs de 40 à 60 kilomètres comme convenables. — L'influence des nuages orageux est cependant certaine sur les lignes télégraphiques, — on le sait assez dans tous les bureaux, — et il me paraît certain que, sous ce rapport-là, plus une ligne est développée et plus il y a de chances à ce que l'une ou l'autre de ses parties se trouve dans le cercle d'influence de nuages électriques. Sans parler des orages proprement dits et des décharges violentes, il est bien probable que le seul rapprochement ou le seul éloignement

(15) Lettre à M. de la Rive. *Arch. des Sc. nat.* Février 1865.

des nuages électrisés suffit pour provoquer des courants accidentels dans une ligne télégraphique. Il est évident que ce genre de perturbation, qui ne s'observe que rarement avec les appareils télégraphiques ordinaires, doit être plus fréquent si l'on se sert d'un galvanomètre sensible ⁽¹⁶⁾.

33. Il serait naturellement d'un grand intérêt de pouvoir, dans les observations faites, éliminer l'élément constant dû à l'action électro-chimique des plaques, afin de reconnaître ce qui provient des deux autres causes. Cette séparation n'est malheureusement pas possible et par conséquent *tout l'intérêt des observations faites ici réside dans les variations du courant* et non point dans sa grandeur absolue, dans la fréquence et l'amplitude de ces variations, leur loi, en quelque sorte, telle qu'elle se manifeste, par exemple, dans les courbes de la Pl. I. Pour savoir ce qui est relatif à l'intensité absolue des courants électriques terrestres, il faut évidemment employer des électrodes choisis et disposés d'une façon telle que l'action chimique soit nulle ou identique aux deux extrémités de la ligne. Des plaques de charbon compacte peuvent peut-être convenablement remplir ce but, ou bien des plaques de zinc amalgamé plongées dans une dissolution de sulfate neutre de zinc, ainsi que les a employées M. Matteucci.

34. On a vu que le courant est beaucoup plus fréquemment dirigée de Berne à Lausanne que dans le sens inverse. L'aiguille du galvanomètre est en effet le plus ordinairement déviée à l'E. Certains jours même, elle ne passe pas de l'autre côté du 0 et il est arrivé une seule fois que, pendant toute une heure, elle s'est maintenue à l'O. du 0, c'est-à-dire que le courant a été dirigé de Lausanne à Berne. Cette prédominance très prononcée de la direction Lausanne-Berne peut tenir à diverses causes.

Berne est plus au nord que Lausanne d'environ 49 kilomètres. Comptée sur le méridien magnétique, cette distance est d'environ 29 kilomètres. Lausanne est de 63 kilomètres à l'O. de Berne. Les observations faites en d'autres lieux ne paraissent pas avoir montré que les courants terrestres soient toujours plus fréquents du N. au S. que dans le sens contraire. Les expériences de M. Matteucci lui ont au contraire montré la direction du S. au N. comme beaucoup plus fréquente ⁽¹⁷⁾.

⁽¹⁶⁾ On sait que les observations de l'électricité atmosphérique montrent des variations souvent fort rapides et considérables dans des moments successifs. (Voir, entr'autres, Quételet, *Climat de la Belgique*, et *Archives des Sc. phys. et nat.* Sept. 1854). Ces variations, quoique beaucoup moins fréquentes, ne sont pas sans analogie avec celles des courants terrestres.

⁽¹⁷⁾ Je dois noter ici que M. de la Rive ne pense pas que les courants observés par M. Matteucci, dans le méridien magnétique, soient une déri-

Dans celle de ses lignes dirigée perpendiculairement au méridien, M. Matteucci a observé des courants de sens variable, mais plus fréquents cependant de l'Ouest à l'Est, tandis que sur la ligne Berne-Lausanne, la direction prédominante est de l'Est à l'Ouest. — Quant à l'altitude, les deux plaques de terre diffèrent peu l'une de l'autre : celle de Berne est de 68 mètres plus élevée que celle de Lausanne. Je ne pense pas que cela puisse expliquer la plus grande fréquence du courant Berne-Lausanne. D'après M. Matteucci même, ce devrait être l'inverse; car ce savant a toujours vu le courant *ascendant* entre deux stations, près de Turin, présentant une différence d'altitude de 150^m. Ce résultat a été confirmé entre Ivree et St.-Vincent, sur une longueur de 36 kilomètres, avec une différence de niveau de 281^m, et ailleurs encore.

Il est possible que ce soit à la différence d'action électro-chimique des plaques qu'il faille attribuer cette prédominance de la direction Berne-Lausanne, et ce qui appuierait cette supposition, c'est que la plaque de Lausanne est plongée dans un terrain marneux bien plus humide que le sol un peu sec et sablonneux où se trouve celle de Berne. Il y avait donc probablement un courant sensiblement constant dirigé de Berne à Lausanne, déviant d'un certain nombre de degrés à l'Est l'aiguille du galvanomètre. A ce courant constant venait s'ajouter, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, les courants électriques terrestres variables d'intensité et c'est cette somme qui produisait les mouvements de l'aiguille galvanométrique (¹⁸).

vation du grand courant terrestre. Ces courants seraient plutôt dus à des circonstances atmosphériques et locales, le circuit employé par M. Matteucci ayant des électrodes trop peu éloignés et un galvanomètre offrant une trop grande résistance. (Voir *Archives des Sc. phy. et nat.* Février 1865.)

(¹⁸) Tout en émettant cette opinion, je ne puis pas me dissimuler cependant que des considérations assez fortes pourraient faire mettre en doute la possibilité d'un courant un peu intense, d'origine électro-chimique, dans le circuit Berne-Lausanne.

Les deux plaques sont séparées, en effet, par une très grande distance et on peut penser, avec quelque raison, que la force électro-motrice qui intervient dans leur contact avec la terre humide ne suffit pas pour y engendrer un courant sensible.

Dans les essais que j'ai faits à l'aide de plaques en fer (voir § 32) plongées dans le sol et placées à une petite distance, j'ai obtenu un courant caractérisé par une très faible tension. Les deux plaques reliées par un gros conducteur de vingt mètres environ d'étendue donnaient un courant de 39°,8 au galvanomètre (intensité 48, voir § 4). En introduisant dans le circuit le fil de cuivre d'un relais télégraphique dont la longueur équivaut à peu près à 14,000 mètres du fil de fer des lignes, cette intensité était réduite à 3°,5. On voit que si la ligne Berne-Lausanne avait été intercalée entre ces deux plaques, le courant aurait à peine écarté l'aiguille du zéro.

De ces faits, on ne peut pas absolument conclure ce que doit être la tension du courant électro-chimique entre les deux plaques de terre de Berne et de Lausanne, parce que les circonstances ne sont pas identiques; mais on

33. Le fait même de la *variabilité* des courants terrestres, est assurément très remarquable. Cette variabilité, dans mes observations, est d'ailleurs semblable à celle qui résulte des observations faites en d'autres lieux.

Les faits publiés par M. Walker, en Angleterre, montrent sur diverses lignes (Margate à Asford, Margate à Ramesgate, Asford-Hastings, etc.) les courants terrestres très-variables et d'une remarquable intensité dans les journées voisines des aurores d'août et de septembre 1859. Le 7 septembre, par exemple, entre 7 h. 19 m. et 7 h. 29 m., on a pu enregistrer quatre courants alternativement dirigés en sens contraire et donnant 64° , 44° , 34° et 38° à la boussole ⁽¹⁹⁾.

Dès 1859 que M. Lamont a voué une attention particulière aux courants terrestres, ce savant a toujours constaté les variations extrêmes de ces courants et il soutient, d'ailleurs ⁽²⁰⁾, que « le » galvanomètre n'indique pas le courant terrestre lui-même, mais » seulement les *ondulations du courant terrestre*, soit les variations momentanées qu'il éprouve. » Le savant Directeur de l'observatoire de Munich pense que les galvanomètres ne peuvent signaler autre chose que ces variations du courant, parce que ces variations seules donnent des dérivations. Le courant terrestre, s'il était absolument constant, se propagerait exclusivement dans le sol et ne viendrait point emprunter nos circuits télégraphiques. M. Lamont, d'ailleurs, en discutant les résultats obtenus sur les nombreuses lignes qu'il a installées dans le voisinage de son observatoire, admet l'existence d'un courant principal perpendiculaire au méridien. « En dehors de ce courant équatorial, il n'existe que des mouvements ondulatoires irréguliers qui » vont tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, et qui suivent » aussi souvent une autre direction que celle du méridien. »

Le R. P. Secchi a fait des observations de courants terrestres sur une ligne de 52 kilomètres, de Rome à Anzio, dirigée du Nord au Sud. Il a trouvé une variation diurne très marquée dans l'intensité de ce courant dont le sens général, sauf quelques perturbations, est du Nord au Sud. Sur la demande de ce savant, M. Jacobini, inspecteur des télégraphes romains, a observé sur la ligne

peut cependant en inférer, avec quelque probabilité, que ce courant doit être bien affaibli à travers la longue résistance des 97,000 mètres de fil télégraphique.

On pourrait remarquer encore que les résultats négatifs obtenus dans la recherche des courants de polarisation viennent à l'appui des considérations précédentes. Ces courants, en effet, se manifestent très bien (voir note 11) avec des plaques de terre reliées par un fil court, tandis qu'ils n'ont pas été sensibles entre les deux plaques de Berne et de Lausanne.

⁽¹⁹⁾ *Phil. Trans.* 1861. — *Archives* de décembre 1861.

⁽²⁰⁾ *Archives* de décembre 1861.

de Rome à Ascoli de 58 kilomètres de longueur, dans une direction normale à celle du méridien magnétique. Les variations ont été ici très nombreuses, soit quant à l'intensité, soit quant à la direction du courant. L'une des extrémités de la ligne, Ascoli, est une station située dans les montagnes, ce qui est probablement une circonstance favorable pour que les influences atmosphériques locales acquièrent beaucoup d'importance.

À l'observatoire de Greenwich ⁽²¹⁾, les courants des deux lignes Greenwich-Dartford et Greenwich-Croydon, recueillis à l'aide d'appareils enregistreurs, présentent une grande analogie avec ceux des observations faites à Lausanne. Il y a, ce me semble, une vraie importance à constater que, dans des contrées fort éloignées, le phénomène des courants terrestres présente un même caractère et se rattache donc probablement, pour une grande part au moins, à des causes très générales. C'est cette importance qui m'a engagé à reproduire, Pl. II, les courbes des appareils enregistreurs de Greenwich pour la journée du 17 avril 1865⁽²²⁾. — En comparant ces courbes avec celles des 17 et 31 mai, observées à Lausanne, on reconnaît bientôt une complète analogie et la différence d'aspect, qui frappe au premier abord, tient uniquement à la *différence de l'échelle des temps*, puisque la même longueur qui représente *une heure*, dans les courbes de Greenwich, représente *cinq secondes* dans celles de Lausanne.

La ligne Greenwich-Dartford a une longueur de 25,200 mètres; elle fait un angle de 57° (dans le cadran S.-E.) avec le méridien magnétique de Greenwich. On voit que, dans la journée du 17 avril, les courants terrestres y ont présenté des variations continues, mais d'une faible amplitude; ces variations se manifestent par des hâchures qui ne sont un peu confuses et entassées que parce que le papier enregistreur se déroulait lentement. Les courbes de mes observations présenteraient évidemment le même aspect si on les comprimait, en quelque sorte, sur un axe des temps beaucoup plus court.

La ligne Greenwich-Croydon a 16,890^m de longueur; elle fait, avec le méridien magnétique, un angle de 50° (dans le cadran S.-O.) et avec la ligne précédente, par conséquent, un angle de 107°. On voit que, malgré la moindre longueur de cette ligne, le courant terrestre y a offert, le 17 avril, des variations d'une assez grande amplitude et il se dirigeait tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. — En comparant ces deux courbes avec celles de mes

(21) Je dois ces renseignements, sur les observations qui se font à Greenwich, à une communication adressée par M. Airy à M. de la Rive et que M. de la Rive a bien voulu mettre à ma disposition.

(22) Ces courbes sont tirées de la communication de M. Airy à M. de la Rive. Le savant directeur de l'observatoire de Greenwich a eu l'obligeance d'en autoriser ici la publication.

observations, on peut voir qu'elles manifestent des variations de courant absolument semblables. Parfois l'intensité change rapidement et considérablement de valeur et d'autres fois elle varie peu ou entre des limites beaucoup plus rapprochées.

36. La grande variabilité est donc un des caractères les plus essentiels des courants qui s'observent sur une ligne de quelque étendue en relation avec le sol par ses deux extrémités et, ainsi que je l'ai déjà (§ 13) remarqué, la *forme* de ces variations est digne de fixer l'attention. Les courbes de la Pl. I. rendent cela très sensible. On voit, pendant plusieurs secondes successives, l'intensité du courant augmenter d'une façon fort régulière; il n'y a pas une impulsion brusque de l'aiguille du galvanomètre, mais une variation lente qui aboutit à des repos absolus. Le courant demeure tout à fait constant pendant quelques secondes, parfois plus d'une minute (courbe du 16 mai), puis son intensité varie de nouveau dans un sens ou dans l'autre.

Il est à remarquer que ces manifestations *habituelles* du courant terrestre ont au fond le même caractère que celles qui ont été signalées à plusieurs reprises dans ces derniers temps lors des aurores boréales; il n'y a d'autre différence que les limites plus étendues entre lesquelles les variations se produisent. Si l'on traduit en courbes les observations de MM. Walker, Matteucci, Hipp, Loomis, etc., pendant les aurores boréales, en choisissant une échelle des intensités convenable, on trouve des figures entièrement semblables à celles de la planche I. Voici, comme exemple, quelques observations faites à Berne, par M. Hipp, le 2 septembre 1859, entre 8 et 9 heures du matin, à un moment, où, on le sait, une forte perturbation magnétique était constatée sur la plupart des lignes télégraphiques de l'Europe coïncidant avec une aurore boréale des plus brillantes.

8 h. 34 m. 0 s.	+ 37°	8 h. 41 m. 30 s.	+ 26°
15 s.	+ 34°	45 s.	— 26°
36 m. 0 s.	+ 4°	42 m. 0 s.	— 31°
15 s.	— 20°	15 s.	— 30°
30 s.	— 30°	30 s.	— 24°
38 m. 0 s.	— 2°	45 s.	— 12°
40 m. 45 s.	+ 42°	43 m. 0 s.	0°
41 m. 0 s.	+ 38°		

J'ai représenté graphiquement les résultats compris entre 8 h. 40 m. 45 s. et 8 h. 43 m.; c'est la ligne pointée *a b c d*.

L'axe des temps est celui du 17 mai; mais l'échelle des intensités est réduite. — M. Hipp observait avec une boussole télégraphique ordinaire et seulement de 15 en 15 secondes, c'est pour cela que la courbe présente peu de sinuosités de détail; mais il

est extrêmement probable que si un appareil plus délicat avait été placé dans le circuit et si on l'eût suivi de seconde en seconde, on aurait eu une courbe accusant des variations d'intensité absolument analogues à celles du 17 et du 31 mai et ne présentant aucune différence essentielle avec ce qui s'observe *tous les jours* à l'aide d'un galvanomètre sensible (voir toutes les observations du § 15).

On arrive donc, par ce genre de considérations, à rattacher, avec beaucoup de probabilité, à une seule et même cause les courants terrestres qui s'observent habituellement, et ceux qui ont exceptionnellement attiré l'attention lors des aurores boréales : cette cause, en quelque sorte permanente, est plus ou moins intense à divers moments ou à diverses époques. — C'est bien ainsi, on le sait, que M. de la Rive conçoit la cause des aurores boréales dans la belle théorie qu'il a développée. Suivant ce savant physicien, cette cause, toujours agissante, c'est la recombinaison, à travers l'atmosphère des régions polaires, de l'électricité positive de l'air avec la négative du sol, recombinaison dont l'activité doit dépendre de l'état constamment variable en température, humidité, etc., des couches d'air elles-mêmes.

Dans les latitudes supérieures, on a la preuve de la fréquence ou de la permanence du phénomène électrique par la fréquence des aurores elles-mêmes. Dans nos latitudes plus méridionales, la manifestation lumineuse de la recombinaison électrique ne s'aperçoit que dans les cas où elle est exceptionnellement intense ; mais les courants terrestres que nous pouvons recueillir et dont nous pouvons observer les variations sont pour nous un indice de la continuité et de la permanence du phénomène qui les provoque.

Lorsque l'on eut remarqué la coïncidence entre les aurores boréales et les perturbations des aiguilles de déclinaison, on put quelquefois reconnaître l'existence d'une aurore sans la voir et seulement par l'observation des instruments magnétiques. — On peut dire que les courants terrestres, recueillis et signalés par le galvanomètre, sont un moyen semblable, mais beaucoup plus sensible. L'emploi du galvanomètre nous permet de suppléer, en quelque sorte, à ce qu'il y a de défavorable dans notre situation géographique ; les indications de cet instrument nous informent de l'existence et de la marche des orages magnétiques polaires d'une façon peut-être plus complète et plus sensible que ne le font les jets de feu des aurores pour les habitants des latitudes boréales.

37. Cette analogie de caractère entre les courants qui s'observent *habituellement* dans un long circuit et ceux qui se manifestent avec une intensité exceptionnelle lors des aurores boréales devient, en outre, me paraît-il, la meilleure preuve que ces courants *habituels* sont bien dus à quelque phénomène général et

qu'ils ne sont pas une simple manifestation de causes toutes locales. L'action de l'air plus ou moins électrisé, des nuages, etc., peut très vraisemblablement provoquer des manifestations électriques dans un long circuit communiquant avec le sol par ses deux extrémités ; mais cette action seule ne peut en aucune façon expliquer les deux faits suivants :

1° En même temps que paraissent des aurores polaires, les courants acquièrent une intensité très grande *tout en conservant les mêmes caractères*, dans leur variabilité, que ceux qui s'observent habituellement.

2° Dans une foule de lieux, très éloignés les uns des autres, en Europe et en Amérique parfois (ex. : 29 août et 2 septembre 1859) on observe au même moment, *dans les mêmes heures*, une recrudescence dans l'intensité des courants.

On ne peut évidemment se rendre compte de cette simultanéité qu'en attribuant les courants observés à une cause générale, à quelque phénomène qui intéresse une grande partie de notre globe. Cette conclusion, imposée en quelque sorte pour les courants très forts des époques à aurores polaires, s'applique nécessairement aussi, ce me semble, aux courants plus faibles, mais absolument semblables à tous égards, qui s'observent chaque jour.

38. Quant à l'intensité absolue des courants terrestres ou de leurs variations, elle est peu facile à comparer dans les observations faites en divers lieux. Cette intensité doit dépendre de la distance des plaques extrêmes ; mais sa constatation dans les appareils dépend aussi de la résistance totale du circuit où on l'observe.

Dans les observations du § 15, on voit que les variations étaient souvent de 10 à 20° en quelques secondes. Il y a plusieurs exemples (14 mai, 15 mai, 29 mai, etc.) d'une variation de 25 à 30° en peu de minutes ; 25 à 30° au galvanomètre représentent à peu près 1 $\frac{1}{2}$ ° à la boussole télégraphique ordinaire. Avec les appareils télégraphiques pourvus d'un relais, on peut télégraphier avec 3° à la boussole ; mais c'est la limite extrême. Les nouveaux appareils Morse, à encre, fonctionnent avec 5°. On voit ainsi que, dans mes observations, les variations du courant représentaient souvent, en quelques minutes, une intensité égale à la moitié, à peu près, de celle qui est nécessaire (au minimum) pour pouvoir télégraphier. Dans quelques cas exceptionnels (les 3 et 7 novembre 1865) ces variations ont représenté une intensité (voir § 43) au moins égale à celle qui permet de transmettre aisément des signes télégraphiques ⁽²³⁾.

(23) Je parle ici des intensités à l'aide desquelles *on pourrait* télégraphier avec les appareils ordinaires. En réalité, la télégraphie emploie, dans l'état habituel, des courants beaucoup plus forts, l'état normal est 30° à la boussole.

Il est évident qu'on ne pourrait point conclure de ces rapprochements à la possibilité d'obtenir des signes aux appareils télégraphiques avec les courants terrestres habituels. Il y a, en effet, la résistance particulière de ces appareils qui viendrait réduire l'intensité du courant.

Il résulte de ces considérations que les galvanomètres affectés à l'étude des courants terrestres ne doivent pas être trop sensibles; car alors l'aiguille serait toujours très fortement déviée et n'accuserait pas aussi bien les variations faibles.

Il faut d'ailleurs évidemment avoir égard à la longueur de la ligne sur laquelle on fait les observations; car si l'on applique un galvanomètre à très long fil à une ligne courte, l'instrument apportera une résistance considérable comparée à celle du circuit. Les galvanomètres à système astatique ordinaire, de 2 à 300 tours, me semblent tout à fait convenables pour des longueurs de lignes analogues à la distance Lausanne-Berne.

M. Matteucci a fait usage de galvanomètres à 100, 1500 et 24,000 tours. Ces derniers auraient été, je crois, trop sensibles pour les courants de la ligne Berne-Lausanne.

A Greenwich, l'appareil employé s'est trouvé trop sensible également lors des perturbations magnétiques de la fin de juillet derniers; perturbations qui ont coïncidé, on s'en souvient, avec la tentative de la pose du câble transatlantique. A ce moment, l'appareil a donné des indications en dehors des limites des instruments enregistreurs et depuis cette époque M. Airy introduit parfois, dans le circuit, une résistance supplémentaire.

39. Il est à peine nécessaire de faire remarquer, après les détails qui précèdent, que les caractères des courants terrestres sont tels que l'on ne peut guère hésiter quant à la méthode la plus favorable pour leur étude. Il est évident que les appareils enregistreurs sont ici plus indispensables que dans aucune autre des branches d'étude de la physique du globe. — Il est extrêmement à désirer que l'usage de ces instruments se généralise et que, par leur moyen, les courants terrestres soient désormais étudiés d'une façon suivie et régulière dans tous les observatoires magnétiques. Il y aura évidemment un grand intérêt à comparer entr'elles les courbes obtenues simultanément en divers lieux et à comparer ces courbes avec celles que fournissent les appareils magnétiques ordinaires.

On sait quels résultats intéressants a déjà fourni la comparaison entre les observations magnétiques faites en des points différents ⁽²⁴⁾. Les études entreprises sous l'impulsion de Gauss par

⁽²⁴⁾ Voir entr'autres, sur ce point, une communication du général Sabine. (*Ann. de chimie et phys.* t. LXIV, 1862) et le *Traité d'électricité*, t. III, de M. de la Rive.

l'Association magnétique allemande et les observations simultanées faites en divers lieux, de cinq en cinq minutes, pendant six jours, chaque année, ont montré que les variations des éléments magnétiques se produisaient en même temps dans toute l'étendue du territoire des observations. La correspondance se soutenait de la manière la plus complète et la plus surprenante, non seulement dans les grandes oscillations, mais dans presque toutes les plus petites, et MM. Gauss et Weber ont pu dire « qu'il n'était en réalité rien qu'on pût légitimement attribuer à des causes *locales*. »

Les nombreuses observations recueillies dans les quatre stations si diversement situées de Toronto, Sainte-Hélène, le Cap de Bonne Espérance et Hobart-Town ont conduit à des résultats analogues et ces observations ont montré qu'il s'agit là d'un phénomène qui intéresse le globe entier et qui se manifeste simultanément dans les stations les plus distantes.

On ne peut guère douter que les coïncidences qui se sont ainsi manifestées à l'aide des appareils magnétiques ne se montrent d'une façon probablement bien plus sensible encore lorsque l'on pourra comparer les courbes des courants terrestres enregistrés simultanément dans divers lieux. Il me paraît vraisemblable que ces coïncidences se retrouveront même dans les courants habituels, journaliers en quelque sorte et d'une faible intensité. Les variations plus ou moins énergiques de ces courants sont probablement d'ailleurs la cause principale des perturbations accusées depuis longtemps par les aiguilles aimantées, et il y a tout lieu de croire que par leur étude la science du magnétisme terrestre fera des progrès signalés ⁽²⁵⁾

⁽²⁵⁾ Mais il y a, ce me semble, une sorte de question préalable à vider si l'on veut pouvoir comparer, dans la suite, les observations faites en divers lieux et dans des circonstances diverses; c'est celle de l'influence de la *profondeur des électrodes* qui terminent les circuits. M. Lamont a pu conclure de ses belles recherches que « les ondulations du courant se manifestent avec le plus d'intensité à la surface de la terre et diminuent d'autant plus qu'on pénètre dans l'intérieur. A 12 pieds de profondeur, elles perdent déjà la moitié de leur intensité. » (*Arch.* décembre 1861). M. Matteucci a de même constaté que « les courants observés augmentent d'intensité lorsque l'on approfondit les cavités où plongent les lames extrêmes de 0 m.50 à 2 m. » Ce savant physicien attribue cette influence à la plus grande conductibilité de la couche qu'on atteint en approfondissant les cavités extrêmes. — Sans insister davantage, il me paraît évident que l'une des observations les plus précieuses et les plus urgentes dans le sujet actuel consisterait à suivre simultanément les indications fournies par deux ou trois lignes semblablement placées et différant uniquement par la situation plus ou moins profonde des plaques extrêmes. — Il y aurait un vif intérêt aussi à observer un circuit dont les électrodes plongeraient dans des puits de mine.