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.
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: 02.10.2025

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

Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences naturelles.

Vol. IX. N° 54. 1866

RECHERCHES

SUR LES

COURANTS ÉLECTRIQUES TERRESTRES

PAR

M. L. DUFOUR,

professeur de physique à l'Académie de Lausanne.

Dans sa réunion à Zurich, en août 1864, la Société helvétique des sciences naturelles entendit une proposition de M. A. de la Rive, qui demandait que la Société fît « examiner la convenance » qu'il y aurait à établir dans une ou plusieurs des stations météo- » rologiques, des observations régulières sur les courants terres- » tres faites au moyen des fils télégraphiques. » (1)

M. de la Rive développa sa proposition en montrant quel grand intérêt se rattache à cette question des courants terrestres et il exprima l'espoir que les autorités fédérales accorderaient leur concours à la Société des sciences naturelles.

La Société des sciences naturelles adopta la proposition de M. de la Rive et elle nomma une Commission spéciale (2) chargée de s'occuper de ce sujet. Cette Commission examina et discuta, dans une première conférence, comment des observations pourraient être entreprises, et elle décida de faire quelques études prélimi-

(1) Verhandlungen der Schw. nat. Gesells. in Zurich. 1864. p. 387.

(2) Cette Commission est composée de : MM. *A. de la Rive*, président; *R. Wolf*, prof. à Zurich; Dr *Hirsch*, à Neuchâtel; *Ed. Hagenbach*, prof. à Bâle; *L. Dufour*.

naires en se servant des fils du réseau télégraphique. Il importait de savoir jusqu'à quel point on peut tirer parti des fils actuellement existants afin d'éviter, si possible, d'installer un fil nouveau et exclusivement affecté à l'étude des courants. Pour ces recherches préliminaires, la Commission pensa qu'il suffisait d'installer des plaques de terre aux deux extrémités de la ligne employée et de relier ces plaques avec la ligne pendant que l'on ferait les observations. Pour simplifier ces recherches préparatoires, on décida que ces plaques seraient en tôle et que l'observation des courants aurait lieu au moyen d'un galvanomètre ordinaire intercalé dans le circuit. La Commission ne méconnut point les inconvénients qu'il y avait à employer des plaques de fer, mais elle pensa qu'il ne fallait peut-être pas compliquer une installation toute provisoire en ayant recours soit à de grandes plaques de charbon, soit à des plaques de zinc disposées comme celles des expériences de M. Matteucci.

Quant aux lignes à choisir, la Commission décida de faire les premiers essais dans deux directions et, autant que possible, de choisir une direction parallèle au méridien magnétique et une autre perpendiculaire. Pour la première, la direction Bâle-Lucerne parut convenable, et pour la seconde, la ligne Lausanne-Berne. Cette dernière présentait surtout l'avantage de fournir un fil télégraphique direct, c'est-à-dire reliant Lausanne avec Berne sans toucher aucune station intermédiaire. — L'administration fédérale des télégraphes voulut bien promettre son indispensable concours pour les études qu'on voulait entreprendre et elle a mis, dans la suite, une parfaite obligeance à faciliter ces études.

C'est sur la ligne Lausanne-Berne ([3]) que la Commission me chargea de faire quelques essais préliminaires, et c'est le résultat de ces recherches qui se trouve consigné dans le présent travail. — Au premier abord, je crus qu'il suffirait de quelques observations pour voir si une ligne télégraphique peut être facilement mise à profit et pour savoir quel galvanomètre il convient le mieux d'employer. Mais les questions ne tardèrent pas à se multiplier et à se compliquer. Je fus amené à entreprendre un certain nombre d'expériences pour résoudre divers points douteux et, en définitive,

([3]) Cette ligne est employée exclusivement pour les relations télégraphiques entre Genève, Berne et la Suisse orientale ; de là son nom de *ligne directe* dans la nomenclature de l'administration télégraphique. Elle ne passe dans aucune station entre Genève et Lausanne; à Lausanne, elle entre dans le bureau, passe au parafoudre et au rhéostat, mais ne s'y relie habituellement à aucun appareil télégraphique et ne sert pas à la transmission des dépêches partant de cette ville ou y arrivant. C'est cette ligne enfin qui, pendant la nuit, fonctionne pour le service international entre Genève et Bâle ou St Gall.

un nombre assez considérable d'observations diverses se trouvèrent réunies.

Ces observations ont, en somme, un double but : tantôt elles se rapportent à la tâche proprement dite qui m'était proposée, c'est-à-dire *l'étude des moyens d'observation et du parti qu'on peut tirer d'une ligne de la télégraphie ordinaire ;* tantôt elles ont trait au sujet scientifique même que l'on a eu en vue. Cette double préoccupation nuit certainement à l'unité de ce mémoire ; mais l'intérêt du sujet lui-même est si vif que je ne suis pas parvenu à m'y soustraire et que je n'ai pas su me borner à l'étude exclusive de la méthode d'observation et des avantages ou des inconvénients que présente l'emploi d'un fil appartenant à l'administration télégraphique.

Malheureusement, les observations qu'il m'a été possible de faire ont été, en somme, rares et clair-semées, et les pages qui suivent ne peuvent en aucune façon prétendre à une étude quelque peu complète des courants terrestres. Mais ce travail aura son utilité, tout défectueux qu'il est, s'il montre le très vif intérêt qu'il y aurait à poursuivre en Suisse des études semblables, et s'il indique quelques-unes des précautions dont il faut s'entourer dans les recherches de ce genre.

M. A. de la Rive, si compétent pour des études de ce genre, a bien voulu m'aider de ses précieux conseils et de ses savantes directions ; je prends la liberté de lui témoigner ici ma bien vive reconnaissance.

I. Ligne et appareils. Mode d'observation.

1. La communication de la ligne destinée aux expériences, avec le sol, se faisait par l'intermédiaire de grandes plaques de tôle de un mètre carré de surface. — A chacune de ces plaques avait été soudé, par une soudure au cuivre, un fil de fer; la minceur de la tôle n'avait malheureusement pas permis de faire une simple soudure à chaud. Une épaisse couche de vernis à l'huile avait été appliquée sur le point de soudure et sur la portion voisine de la tôle.

A Lausanne, la plaque de terre a été placée le 4 avril 1865 dans un trou pratiqué au pied de la façade N du grand Pont, dans un terrain marneux, très humide, et éloigné de 10 mètres environ du lit du Flon, sur la rive gauche. Le trou avait 2^m de profondeur et la plaque y a été couchée horizontalement. Le fil de fer, sortant du sol, s'élevait le long d'un des piliers du pont, puis il était relié, à l'aide d'une pince, avec un fil de cuivre entouré de gutta percha, tendu obliquement jusqu'à une fenêtre du bâtiment où se trouve le bureau télégraphique. Le fil pénétrait dans une chambre où passent les diverses lignes aboutissant à Lausanne, et c'est là, près du parafoudre, qu'il pouvait être mis en communication avec la ligne destinée aux expériences.

A Berne, une plaque de tôle, parfaitement semblable à celle de Lausanne et coupée dans la même pièce, a été déposée dans le sol le 10 avril, à $1^m,90$ de profondeur, dans un terrain un peu sablonneux, sous le pavé de la cour du bâtiment de la Poste. Le fil de fer montait le long d'un mur en molasse et pénétrait jusqu'au bureau télégraphique où l'on pouvait le relier avec la ligne.

2. Les deux plaques de terre de Berne et de Lausanne soni éloignées d'environ 79100^m en distance rectiligne; mais le fil qut les relie suit le chemin de fer d'Oron-Fribourg-Berne, il présente quelques sinuosités et sa longueur est d'environ 97,000 mètres (4). La ligne Lausanne-Berne fait un angle d'environ 68° avec le méridien magnétique.

(4) Cette longueur est celle de la ligne ferrée Lausanne-Fribourg-Berne, le long de laquelle le fil est établi. — La longueur réelle du fil doit être un peu plus grande parce que d'un poteau à l'autre il se produit une légère flexion. Mais la différence due à cette cause-là ne peut guère s'apprécier parce que la flexion n'est pas partout la même.

3. Les observations ont été faites à l'aide d'un galvanomètre ([5]) de Ruhmkorf, dont les aiguilles ont 48^{mm}. L'aiguille intérieure est enveloppée de 4 systèmes de fil d'égales longueurs dont les extrémités aboutissent, distinctes, à des boutons extérieurs. Il est facile, suivant l'intensité du courant que l'on veut observer, d'employer le plus court circuit ou un circuit plus long, en utilisant un seul des fils (60 tours) ou en les ajoutant les uns aux autres (120 ou 180 ou 240 tours). — Dans toutes les observations dont il est question plns loin, le galvanomètre a toujours été employé avec les quatre fils ajoutés à la suite les uns des autres, de telle façon qu'il avait sa plus grande sensibilité.

4. Cette disposition des 4 circuits qui pouvaient être distincts ou ajoutés, a permis de construire facilement la table de graduation de l'instrument. On s'est assuré d'abord que chacun des quatre circuits agit d'une façon sensiblement égale sur l'aiguille, c'est-à-dire que le même courant, lancé successivement dans chacun d'eux, produit toujours la même déviation. ([6]) Cela étant, un courant A était lancé dans le premier circuit et produisait une déviation D_1; le même courant A (contrôlé par un second galvanomètre) était ensuite lancé dans les deux premiers circuits, puis dans trois, et les déviations devenaient D_2, D_3. Il est évident que D_2 correspond à une intensité double de celle qui produit D_1, D_3 à une intensité triple, etc. — En multipliant ces expériences avec diverses valeurs de A, on a pu former une table; puis tous les résultats ayant été représentés graphiquement, on a pu tracer la courbe moyenne qui ne s'écartait que très peu des observations distinctes. C'est à l'aide de cette courbe qu'a été construite la table qui suit. — La disposition que j'avais employée pour obtenir des courants constants A, et qu'il est superflu de décrire ici, n'a pas permis de dépasser le 77° du galvanomètre; mais comme l'instrument n'a jamais présenté une déviation aussi forte dans les observations des courants terrestres, la table ci-dessous est suffisante pour la discussion des faits.

La déviation est sensiblement proportionnelle à l'intensité du courant jusqu'à 24°.

([5]) Ce galvanomètre appartient à M. de la Rive, qui a eu la bonté de me le prêter.

([6]) Les quatre circuits agissent en effet sensiblement de la même façon sur l'aiguille; il y en a cependant trois qui sont plus complètement semblables entr'eux qu'ils ne le sont au quatrième. Ce sont ces trois-là qui ont servi pour la graduation.

Degrés	Intensité
1°	1
2	2
3	3
.	.
.	.
.	.
.	.
.	.
.	.
22	22
23	23
24	24,1
25	25,2
26	26,3
27	27,5
28	28,8
29	30,1
30	31,5
31	32,9
32	34,4
33	35,9
34	37,5
35	39,2
36	40,9
37	42.7
38	44,5
39	46,3
40	48,2
41	50,2
42	52,3
43	54,4
44	56,6
45	589,

Degrés	Intensité
46°	61,3
47	63,8
48	66,5
49	69,4
50	72,5
51	75,7
52	78,9
53	82,3
54	85,9
55	89,7
56	93,7
57	98,0
58	102,6
59	107,5
60	112,8
61	118,5
62	124,6
63	131,2
64	138,3
65	145.9
66	154,1
67	163,0
68	172,6
69	183,0
70	194,3
71	206,4
72	219,5
73	233,7
74	249,1
75	265,8
76	283,9
77	303,6

3. Comme il était important, ainsi qu'on le verra dans la suite, de pouvoir comparer les indications du galvanomètre et celles de la boussole ordinaire des télégraphes, j'ai fait un certain nombre d'observations comparatives avec ces deux instruments. La boussole des télégraphes ([7]) est malheureusement un appareil où l'aiguille se meut avec quelque difficulté. Le frottement sur le pivot vertical est assez notable et, avec une même intensité de courant, l'aiguille ne revient pas se fixer toujours au même point. Il suit de là que les résultats des comparaisons avec le galvanomètre sont peu régulières, et en outre, le galvanomètre étant bien plus sensible, ces comparaisons ne peuvent pas se poursuivre très loin. En faisant passer un même courant dans *un seul* des circuits du galvanomètre et dans la boussole, on a trouvé, par exemple :

Boussole.	Galvanomètre (un circuit).
7°	47°
10°	52°
15°	57°
18° 1/2	58°,4
21°	60°
24°	62°,5
30°	67°,5
etc.	etc.

On a fait un grand nombre de comparaisons pareilles, puis on a pu représenter graphiquement les résultats en remarquant que les intensités, prises dans le tableau précédent, doivent être multipliées par quatre, puisque, dans ces dernières comparaisons, le courant traversant seulement un des circuits galvanométriques agissait avec une intensité quatre fois moindre. La courbe moyenne obtenue par ce procédé a servi à construire le tableau suivant où, entr'autres singularités, on peut voir que les degrés n'ont pas une valeur qui augmente régulièrement comme dans un galvanomètre ordinaire. Cette sorte d'anomalie résulte bien des observations et tient sans doute à quelque détail de construction de l'instrument. Quoi qu'il en soit, ces indications ne doivent être considérées, ensuite des détails qui précèdent, que comme des approximations à cause du défaut de mobilité de l'aiguille de la boussole ; mais ces approximations mêmes ne seront pas sans intérêt dans la suite.

([7]) Il est question ici de la boussole employée par l'administration fédérale des télégraphes. Le fil fait 32 tours et le cadran porte les divisions de 2 en 2° jusqu'à 60 de part et d'autre du zéro.

Boussole.	Intensités.	Galvanomètre (les 4 circuits.)
1°	22	22°
2	44	38°
3	66	48°
4	88	55°
5	111	60°
6	135	63°,5
7	160	66°,7
8	186	69°,3
9	213	71°,6
10	240	73°,4
11	267	75°,1
12	293	76°,5
13	318	
14	343	
15	367	
16	380	
17	413	
18	435	
19	457	
20	479	
21	502	
22	525	
23	549	
24	574	
25	599	
26	625	
27	652	
28	680	
29	710	
30	742	
31	777	
32	817	
33	861	
34	911	
35	966	
36	1036	

6. Lorsqu'on voulait entreprendre une observation, on s'assurait d'abord que la ligne directe n'était pas occupée par une communication télégraphique, puis le Bureau de Lausanne demandait à Berne de relier l'extrémité de la ligne avec le fil de la plaque de terre spéciale. Cette liaison se faisait dans le bureau même de Berne. Dès que j'étais avisé que la communication était établie, je mettais en relation le fil de la plaque de terre de Lausanne avec la ligne, le galvanomètre étant intercalé dans le circuit. — Le galvanomètre était ordinairement installé sur le bord intérieur et absolument fixe d'une fenêtre ; la communication avec la ligne se faisait au parafoudre placé non loin de là.

Des observations comme celles dont il s'agit ici devraient être permanentes. Il ne pouvait malheureusement pas en être ainsi à cause des exigences du service télégraphique et ces observations se sont fait seulement à diverses heures de la journée.

Les jours et les heures avaient été fixés à l'avance, de concert avec l'administration des télégraphes. C'était, suivant les jours, de 4 h. à 5 $^1/_2$ h. ou de 6 h. à 6 $^3/_4$ h. du matin ; de midi à midi et demi, de 9 h. ou de 9 $^1/_2$ à 10 h. ou 10 $^1/_2$ du soir.

II. Influence perturbatrice des courants du télégraphe.

7. Dès que le circuit est fermé, le galvanomètre présente une déviation plus ou moins prononcée dans un sens ou dans l'autre et accuse ainsi l'existence de courants dans la ligne. Mais cette déviation ne demeure guère constante et l'aiguille subit des mouvements divers.

Dès les premiers jours, il parut certain que l'aiguille présentait, par moments, des secousses en tout point semblables à celles qu'occasionnent les courants intermittents d'un télégramme et quelques essais ne laissèrent bientôt aucun doute sur l'influence télégraphique qui produisait cette agitation. Il se produisait, en effet, une déviation brusque de l'aiguille au moment où, dans le bureau de Lausanne, on lançait un courant dans certaines lignes aboutissant aussi à Berne, mais d'ailleurs parfaitement distinctes de celle qui était en expérience. La déviation pouvait être maintenue permanente ; ce n'était donc point quelque phénomène d'induction, mais une dérivation qui se produisait d'une ligne à l'autre. — Ces dérivations pouvaient être attribuées à trois influences qu'il s'agissait d'examiner de près.

8. En premier lieu, le voisinage des fils à leur entrée dans les bureaux, soit à Lausanne, soit à Berne, pouvait être tel que l'isolement ne fût pas absolu et qu'un courant pût passer de l'un à l'autre. A Lausanne, un examen attentif des lieux montra qu'il ne pouvait sûrement pas y avoir là une communication; mais à Berne, les doutes étaient très légitimes. La plaque de terre, en effet, était reliée à un fil qui pénétrait dans le bureau, associé à plusieurs autres, dans une sorte de câble d'assez petite dimension. Ce câble, déjà ancien, ne paraissait guère présenter des garanties complètes d'isolement, attendu que les fils y étaient simplement enveloppés de coton, puis juxtaposés et assez fortement pressés. Il pouvait donc très bien se produire là des dérivations qui, quoique faibles, fussent sensibles à mon galvanomètre, et je dois à une observation de M. Lendi, Directeur adjoint des télégraphes, la certitude même que ces dérivations existaient. Dans ce câble se trouvait, entr'autres, le fil qui met habituellement le bureau de Berne en communication avec Paris, et M. Lendi, qui avait introduit un galvanomètre sur le trajet de ma plaque de terre, avait remarqué des soubresauts de l'aiguille toutes les fois que l'on télégraphiait dans la direction de Paris.

Il n'y avait donc plus de doutes à conserver et, par les soins de M. l'inspecteur des télégraphes de Berne, la plaque de terre fut mise en communication, le 28 avril, avec l'intérieur du bureau par un fil spécial, complétement distinct et éloigné de tous les autres.

Cette modification diminua sensiblement les mouvements irréguliers du galvanomètre qui pouvaient être attribués à une dérivation télégraphique; mais elle ne les fit cependant pas cesser complétement. — Une autre cause pouvait être soupçonnée et l'était très vivement même par MM. les télégraphistes, soit à Lausanne, soit à Berne.

9. A Lausanne, l'un des pôles de la pile du télégraphe est en relation avec le sol par l'intermédiaire des tuyaux du gaz; à Berne, cette même communication se fait par une plaque de cuivre installée dans la cour des postes, à une faible distance de celle que j'avais fait établir. Or, si l'on admet que la terre fonctionne comme un conducteur ordinaire dans les relations télégraphiques, il paraissait évident qu'un courant allant de Berne à Lausanne, par un fil télégraphique, par exemple, puis revenant de Lausanne à Berne par le sol, pouvait choisir, comme moyen de retour : les tuyaux du gaz à Lausanne, la couche de terre comprise entre ces tuyaux et ma plaque près du grand Pont, le fil destiné à mes observations, puis rejoindre à Berne le pôle de la pile en passant par ma plaque de terre et traversant une mince couche du sol dans la cour des postes. Cette voie de dérivation

semblait très simplement expliquer les perturbations observées et pouvait paraître assez probable dès que l'on considère la terre comme jouant le rôle d'un conducteur. On sait que le véritable rôle de la terre dans les relations télégraphiques, a été l'objet de nombreuses discussions et d'expériences intéressantes. Quoique cette question me paraisse encore enveloppée de nombreuses obscurités, il est cependant très probable que le sol ne sert point comme conducteur ordinaire et on s'accorde généralement aujourd'hui à le considérer comme une sorte de vaste réservoir où les électricités s'écoulent à partir des deux pôles de la pile. — J'ai cru cependant devoir faire quelques essais pour enlever tous les doutes sur ce point-là.

En premier lieu, je me suis assuré que c'étaient seulement *certains* courants de Lausanne à Berne qui donnaient lieu à une dérivation et non point *tous*. Ainsi, le 16 mai, des courants lancés sur la ligne Moudon-Payerne ne produisaient aucun effet, tandis que ceux lancés sur Romont-Fribourg donnaient lieu à une dérivation sur le fil direct. Or, ces deux courants arrivant à Berne à la même plaque de terre auraient dû produire la même perturbation si la dérivation s'était fait par l'intermédiaire du sol. Cette différence entre les effets de ces deux courants a été observée dans plusieurs autres occasions et elle est inexplicable dans l'hypothèse de la dérivation par la terre. — A Berne, la plaque de terre employée pour les courants télégraphiques n'était séparée de la mienne que par une couche de deux mètres de terre environ. C'était fort peu et on pouvait supposer qu'une si faible épaisseur devait se comporter comme un corps conducteur ordinaire. Sur ma demande, M. le chef de bureau des télégraphes, à Berne, a bien voulu mettre sa pile tantôt en communication avec les tuyaux du gaz, tantôt avec la plaque de terre. Les dérivations n'étaient en aucune façon plus nombreuses et plus prononcées dans ce second cas que dans le premier. Ainsi, le 18 mai, le bureau de Berne était relié avec sa plaque de terre et pendant la soirée on a télégraphié, à plusieurs reprises, sur la ligne Moudon-Morat, entre Lausanne et Berne et vice-versa. Pendant ces relations télégraphiques, l'aiguille du galvanomètre a été souvent parfaitement calme et aucune dérivation ne se produisait, tandis que, *dans la même soirée*, des dérivations très-fortes ont été observées (voir § 10) provenant de courants partis tantôt de la gare, tantôt du bureau de Lausanne et aboutissant seulement à Fribourg.

De ces faits et d'autres semblables, on peut conclure que le sol ne servait en aucune façon de conducteur intermédiaire, soit à Lausanne, soit à Berne, entre les conducteurs terrestres des bureaux télégraphiques et ceux que j'avais fait établir. Cette conclusion a peut-être même quelque intérêt puisque, à Berne, les deux plaques étaient séparées seulement par une faible épaisseur d'environ 2 mètres de terre.

10. Les dérivations observées pouvaient enfin se produire sur les poteaux en bois qui supportent les fils télégraphiques à cause d'un isolement insuffisant des cloches de verre. Quelques expériences ne tardèrent pas, en effet, à montrer que là était la source principale et très probablement unique de ces dérivations.

Le *fil direct* qui servait aux expériences quitte le bureau de Lausanne, tendu sur des poteaux avec 8 autres fils jusqu'à une faible distance, deux cents mètres à peu près. Là se fait une première séparation et trois lignes se dirigent du côté de la gare. Un peu plus loin, à 500 mètres environ du bureau, le fil direct aboutit au chemin de fer Lausanne-Fribourg-Berne et n'a plus pour voisins, sur les poteaux qui bordent la voie, que deux autres fils : celui de l'administration fédérale (ligne Romont-Fribourg) et celui de l'administration du chemin de fer. Près de Fribourg, et sur un faible trajet, un quatrième fil vient se joindre aux précédents; c'est celui qui relie Vevey et Bulle avec Fribourg et Berne.

Si les fils qui courent parallèlement sur une grande distance ne sont pas convenablement isolés par les cloches de verre, il peut évidemment y avoir de l'un à l'autre des dérivations qui acquerront d'autant plus d'importance que l'isolement sera plus imparfait et que les fils se suivent sur une plus grande étendue. Le courant lancé sur l'un d'eux passera partiellement à un voisin, par les poteaux, et reviendra par celui-ci à la station de départ. Cette dérivation, qui apparaît évidemment au premier abord comme très possible, doit être, en tout cas, faible puisqu'elle n'est jamais constatée, dans les conditions normales, avec les appareils télégraphiques ordinaires et qu'elle ne gêne en aucune façon le service. — Des essais divers me montrèrent que cette dérivation se produit réellement parfois et elle est suffisante pour affecter un galvanomètre comme celui dont je faisais usage. Voici quelques faits :

16 mai. A 9 h. 8 m. du soir, pendant que le galvanomètre est dans le circuit, on donne au bureau de Lausanne un courant constant pendant une minute sur la direction Moudon-Morat-Berne. — L'aiguille n'éprouve aucun mouvement, ni au début, ni à la fin de la minute.

A 8 heures 15 minutes, nouvel essai semblable, même résultat nul. — Il n'y a donc aucune dérivation de la part de cette ligne qui n'est voisine du fil direct que sur une petite distance, près de Lausanne et près de Berne.

A 9 heures 18 minutes, on lance du bureau de Lausanne un courant sur la ligne Romont-Fribourg. L'aiguille du galvanomètre, qui était vers 12° E., dévie brusquement à l'Ouest et après quelques oscillations se fixe sur 15 à 16° O.

A 9 heures 19 minutes, ce courant est interrompu et l'aiguille revient immédiatement à l'E

A 9 heures 22 minutes, cet essai est répété et donne le même résultat ; le mouvement de l'aiguille coïncide rigoureusement avec l'ouverture et la fermeture du circuit qui se faisait à un signal donné. La déviation demeurant permanente pendant que le courant passe, il y a bien une dérivation et non un phénomène d'induction.

A 9 heures 25 minutes, on donne des signes télégraphiques sur la ligne Romont-Fribourg, durant une minute, et pendant ce temps l'aiguille du galvanomètre subit des mouvements hésitants, saccadés et décelant de la façon la plus sûre des dérivations aussi intermittentes.

A 9 heures 28 minutes, on donne un courant constant sur la ligne Lausanne-Vevey-Bulle-Fribourg. — L'aiguille n'est pas influencée d'une façon sensible.

A 9 heures 29, nouveau courant sur Romont-Fribourg et nouvelle déviation très forte du galvanomètre.

Il n'y a donc aucun doute ; la dérivation se produit bien entre les deux lignes qui se suivent parallèlement sur une grande étendue.

1er *juillet*. A 9 heures 39 minutes du soir, on donne un courant constant sur la ligne Romont-Fribourg et l'aiguille galvanométrique dévie immédiatement de 3 à 4° vers l'Ouest, puis revient vers l'Est au moment de la rupture. — A 9 h. 41 m., un nouvel essai donne le même résultat positif : 3° de déviation. — A 9 h. 50 minutes, troisième essai qui fournit encore 3° de déviation à l'aiguille. Comme le 16 mai, les mouvements de l'aiguille du galvanomètre se produisent dans un sens puis dans l'autre à l'instant précis où le télégraphiste lançait le courant dans la ligne ou l'interrompait.

Le même jour, diverses tentatives pour obtenir des dérivations provenant de courants lancés sur les lignes Lausanne-Moudon-Berne et Lausanne-Vevey-Bulle-Fribourg, n'ont donné aucun résultat.

La réalité d'un isolement insuffisant entre le fil direct et celui de la ligne Romont-Fribourg étant constaté, il importait de savoir si la troisième ligne, celle qui sert aux communications télégraphiques entre les stations du chemin de fer, ne pouvait pas donner lieu aussi à des dérivations. — Quelques essais furent entrepris pour résoudre cette question et ceux du 18 mai donnèrent un résultat très nettement affirmatif. — Grâce à l'obligeance de M. Cauderay, inspecteur des télégraphes du chemin de fer, il avait été convenu que l'on donnerait trois courants constants, de une minute chacun, à la gare de Lausanne, sur la ligne Fribourg.

Les courants seraient produits de 10 heures 26 minutes à 10 h. 27, de 29 m. à 30 m. et de 33 m. à 34 m. Entre 10 et 11 h., je demeurai en observation près du galvanomètre et je pus constater l'état de l'aiguille aux instants convenus. A 10 heures 25 minutes, l'aiguille était sur 21° E. et demeurait sensiblement immobile; à 26 m., il y eut un brusque mouvement vers l'Ouest, suivi de quelques oscillations, puis l'aiguille se fixa sur 12° E. ; après une minute exactement, il y eut un retour brusque aussi vers 20 à 22° E. A 29 m., l'aiguille était sur 16° E., elle dévia violemment à l'O. et se fixa sur 9 à 10° E. puis revint vers 18° E. à 30 m. A 33 m. enfin, l'aiguille étant sur 16° se porta brusquement vers l'O. puis se fixa sur 11 à 13° et revint, au bout d'une minute précise, vers 18 à 20° E.—Ainsi, les déviations du galvanomètre s'étaient produit aux moments précis où le courant était établi et interrompu à la gare; ces déviations demeurant permanentes durant une minute, il y avait donc aussi une dérivation entre la ligne du chemin de fer et le fil direct.

J'ajouterai que le même jour, la ligne de l'administration fédérale essayée déjà le 16 mai, donna aussi une dérivation notable d'environ 10°.

11. La possibilité de dérivations par les poteaux étant mise hors de doute entre les trois fils qui courent parallèlement de Lausanne à Fribourg et Berne, il importait beaucoup de savoir si elles se produisent toujours ou si elles sont accidentelles et favorisées par les conditions météorologiques. Les 16 et 18 mai, il avait plu dans la journée; les cloches et les poteaux étaient donc mouillés et la couche de liquide recouvrant le verre et le bois entre les fils devait avoir favorisé les dérivations.— A cause de l'importance de cette question, j'ai fait un grand nombre de tentatives par des temps secs ou humides pour constater l'état des lignes, et j'ai pu m'assurer que, dans la plupart des jours, les fils sont convenablement isolés ou que, les dérivations, si elles se produisent, sont trop faibles pour affecter le galvanomètre dont j'ai fait usage.

23 mai. Les observations se faisaient le soir, après 9 heures et demie. Le temps était orageux; mais il n'avait pas plu dans la journée et c'est seulement vers 10 heures qu'une averse très abondante tomba à Lausanne. Cette averse paraissait dépendre d'un orage qui marchait du S.-O. au N.-E.

A 9 h. 48 m., on donna un courant constant sur la ligne Romont-Fribourg; le galvanomètre ne manifesta aucun mouvement particulier soit à la fermeture, soit à la rupture du courant, et les deux lignes étaient ainsi parfaitement isolées.

9 h. 51 m. Même essai; résultat nul.

9 h. 55 m. Même essai ; résultat nul.

9 h. 57 m. Même essai ; résultat nul.

10 h. 1 m. Courant constant sur la ligne Vevey-Bulle-Fribourg ; résultat nul.

10 h. 15 m. Courant constant sur Romont-Fribourg ; l'aiguille du galvanomètre paraît éprouver un léger mouvement vers l'O. au moment de la fermeture, puis un mouvement semblable et de sens inverse lors de la rupture. La déviation demeure toutefois un peu incertaine et ne dépasse pas $^1/_2$°.

10 h. 17 m.— Même essai. Déviation très sensible du galvanomètre de 2 à 3° vers l'O., puis retour vers l'E. au moment de la rupture.

10 h. 19 m. Même essai. — Résultat positif ; l'aiguille dévie de 4° au moins.

10 h. 20 m. Courant sur la ligne Vevey-Bulle-Fribourg ; résultat nul.

10 h. 22 m. Courant sur Romont-Fribourg ; déviation de 4° au moins.

On aperçoit ainsi que dans cette soirée, où j'ai eu la bonne fortune de voir arriver la pluie durant les observations, les lignes étaient d'abord convenablement isolées, puisqu'elles ont fourni des dérivations très peu de temps après la chute de la pluie. Il est est extrêmement probable que l'averse abondante tombée à Lausanne vers 10 h. et quelques minutes s'est propagée dans la direction du N.-E. et a mouillé les poteaux et les cloches sur une étendue assez considérable pour que des dérivations devinssent sensibles.

21 mai. — Il n'avait pas plu depuis plus de 24 heures ; mais comme la pluie avait été assez abondante les jours précédents, il se pouvait que les lignes fussent encore mouillées. — A midi et vingt minutes un courant constant sur Romont-Fribourg ne produisit aucun effet au galvanomètre. Un second essai, quelques minutes plus tard, demeura également sans résultat.

25 mai. Temps beau et sec. — A 9 h. 54 m. du soir, courant constant sur la ligne Romont-Fribourg ; au moment de la fermeture, l'aiguille parut dévier de $^1/_4$ à $^1/_2$° vers l'O., mais le mouvement inverse ne se produisit pas lors de la rupture. — A 9 h. 59 m., nouvel essai et nouvelle déviation apparente d'environ $^1/_2$°t — A 10 h. 11, troisième essai ; l'aiguille se porte brusquemen. de $^1/_2$ à $^3/_4$° vers l'O. lors de la fermeture et revient en sens inverse lors de la rupture.

Le même soir, à 10 h. 23 m., 10 h. 25 m. et 10 h. 29 m., par les soins obligeants de M. Cauderay, un courant fut lancé, à la gare de Lausanne, sur la ligne de l'administration du chemin de

fer. L'aiguille de mon galvanomètre ne présenta que des mouvements incertains de $^1/_4$ à $^1/_2$° au plus. Ce jour-là donc il y avait une dérivation réelle, quoique très faible, provenant du fil de l'administration fédérale, et une dérivation nulle ou douteuse de la part du fil du chemin de fer.

30 mai. Temps sec et beau. — A 9 h. 50 m., courant constant sur la ligne Romont-Fribourg, effet nul au galvanomètre. — A 9 h. 55 m., nouvel essai ; résultat nul. — A 9 h. 58 m. troisième essai ; résultat nul. — L'isolement était donc complet avec la ligne de l'administration fédérale.

A 10 h. 23 m., on donna un courant constant de une minute, à la gare de Lausanne, sur le fil du chemin de fer ; rien de sensible ne se manifesta au galvanomètre. — A 10 h. 25 m., nouvel essai; résultat nul. — A 10 h. 29 m., troisième essai; résultat nul. L'isolement était donc satifaisant aussi entre le fil direct et la ligne du chemin de fer.

Il est évident que lorsque les lignes n'étaient pas parfaitement isolées, il pouvait arriver des dérivations de toutes les stations de la ligne Lausanne-Romont-Fribourg-Berne. Inversément, lorsque les lignes paraissaient isolées pour des courants partant de Lausanne, elles l'étaient très probablement aussi pour les courants partant de toute autre station. Il m'a paru cependant utile d'en avoir la preuve directe en observant le galvanomètre pendant que l'on produisait un courant à Berne. — En outre, comme le fil direct, avant d'aboutir au bureau de Berne, court pendant quelque temps sur les mêmes poteaux que les lignes Neuchâtel-Berne ; Lausanne-Moudon-Berne ; Lausanne - Romont - Fribourg - Berne et Palais fédéral - Bureau de Berne, il m'a paru nécessaire aussi de constater s'il n'y avait pas peut-être quelque dérivation entre ces diverses lignes. Afin d'éclaircir ce point-là, des essais ont eu lieu le 7 juin, entre 10 heures et demie et 11 heures du soir, grâce à l'obligeance de M. le chef du bureau de Berne. — A diverses reprises, M. Frey a lancé, pendant une minute, un courant constant sur l'une ou l'autre de ces lignes. Nous nous étions donné l'heure quelques minutes auparavant et, au moment précis où les courants étaient donnés à Berne, j'observais l'aiguille. J'étais d'ailleurs informé de la fermeture du courant, pour deux des lignes au moins, par l'appareil télégraphique de Lausanne où le choc de l'ancre attiré coïncidait avec l'arrivée du courant de Berne.

A 10 h. 30 m., courant de Berne, sur Moudon-Lausanne ; effet absolument nul au galvanomètre. — A 10 h. 33 m., courant de Berne sur Neuchâtel, puis Lausanne ; effet nul.

A 10 h. 36 m., Berne-Fribourg-Romont-Lausanne; effet nul.

A 10 h. 39 m. Bureau de Berne-Palais fédéral ; effet nul.

Ainsi, ce jour-là qui était beau et sec, il n'y avait sûrement aucune dérivation, sur le fil direct, par l'intermédiaire des poteaux voisins du bureau de Berne. — Quelques essais, faits le même soir, en lançant des courants de Lausanne sur la ligne Romont-Fribourg, montrèrent également un isolement complet.

Le 2 mai, quelques expériences, sous une forme différente, ont eu également pour but de s'assurer du degré d'isolement des lignes. Au bureau de Berne, on a, à un moment donné, interrompu la communication, avec le sol, de la ligne directe et de sa voisine Lausanne-Moudon-Berne. Pendant ce temps, à Lausanne, je mettais en communication l'un des pôles de la grande pile du télégraphe (30 éléments) avec l'extrémité de la ligne directe et l'autre pôle avec l'extrémité de la ligne de Moudon ; le galvanomètre était d'ailleurs introduit dans le circuit. — On avait ainsi un circuit ouvert à Berne et comprenant les deux lignes dont on voulait éprouver l'isolement. Un courant ne pouvait évidemment passer que si ces deux lignes communiquaient dans le trajet par l'intermédiaire des poteaux. L'essai se prolongea de 10 h. 20 m. à 10 h. 23 m. et l'aiguille du galvanomètre demeura rigoureusement sur 0°. — La même opération fut répétée ensuite pour la ligne directe et la ligne Lausanne-Vevey-Bulle-Fribourg-Berne. Les relations avec la pile furent maintenues de 10 h. 26 m. à 10 h. 29 m. et l'aiguille ne fournit aucune déviation. — La ligne Lausanne-Romont-Fribourg et la ligne directe furent enfin éprouvées de la même façon et le résultat fut absolument nul.

On peut donc affirmer que, ce jour-là encore, les lignes étaient très-convenablement isolées, et il est à remarquer que la méthode employée dans cette expérience aurait pu signaler des communications, même bien minimes, entre les lignes. — Le 2 mai avait été un jour beau, sec et calme.

12. Il résulte des détails précédents que les lignes présentent donc parfois un isolement insuffisant et que le courant, lancé sur l'une d'elles, peut dériver partiellement sur les voisines. Quant à l'intensité de cette dérivation, elle varie naturellement suivant l'imperfection plus ou moins grande de l'isolement et elle peut s'évaluer, au moins d'une manière approximative, pour les soirées du 16, du 18 et du 25 mai, dont il a été fait mention plus haut.

Le 16 mai, l'aiguille du galvanomètre éprouva, sous l'influence de la dérivation, un déplacement de 15° E. à 12° O., soit 27°. Si l'on se reporte aux tables de graduation des § 4 et 5 et si l'on admet que le courant lancé à Lausanne, dans la ligne Romont-Fribourg, avait l'intensité normale des courants télégraphiques (30°), on trouve que la dérivation était à peu près de 0,037 ou $\frac{1}{27}$ du courant primitif.

Pour le 18 mai, où l'on constata une déviation d'environ 7 à 8°

produite par le courant de la gare, les tables de graduation montrent facilement que la dérivation était d'à peu près 0,01 du courant télégraphique normal.

La dérivation du 25 mai, qui ne produisait pas une déviation supérieure à $^1/_2$° au galvanomètre, ne dépassait donc pas 0,0007 du courant normal.

Il est à remarquer que des dérivations pareilles doivent devenir plus importantes lorsque les fils qui courent parallèlement sur les mêmes poteaux sont très nombreux; elles doivent augmenter aussi avec la distance sur laquelle le parallélisme se maintient. Il est évident, en outre, que ce qui est une perte pour un des fils peut devenir l'analogue d'une perte également pour la ligne sur laquelle la dérivation se porte ; car si cette ligne est aussi parcourue par des courants, ces courants peuvent être affaiblis par un dérivé marchant en sens inverse.

Tous les essais qui ont été entrepris pour constater ces dérivations d'un fil à l'autre montrent que cet accident ne se produit pas toujours ; *il est* au contraire *exceptionnel* et — avec le degré de sensibilité, du moins, du galvanomètre employé — ce n'est que dans les jours de pluie et lorsque la ligne a été mouillée qu'il peut être aperçu.

Les expériences du 23 mai, entr'autres, montrent très bien que l'isolement, encore complet à 10 h. du soir, a cessé en quelques minutes après une chute abondante de pluie. — Mais si l'on ne peut mettre en doute la cause du défaut d'isolement, il est malheureusement beaucoup plus difficile de dire pendant combien de temps peut se prolonger cet isolement incomplet. Après que la pluie est tombée, les cloches demeurent mouillées quelque temps; le bois des poteaux se conserve humide et il est bien certain que les dérivations doivent se prolonger pendant un temps variable suivant l'état d'humidité de l'air, son état de repos ou d'agitation, etc. On voit, par exemple, que le 25 mai il y avait encore une très légère dérivation, quoique la pluie eût cessé depuis plus de 24 heures. — On ne peut guère douter, d'après tout ce qui précède, que les dérivations ne se fussent prolongées plus longtemps et n'eussent été plus importantes si ces observations avaient été faites en hiver.

13. On peut se représenter que, sur chaque poteau, un faible courant dérivé part du fil, se propage à travers la couche liquide qui mouille la face supérieure de la cloche de verre, continue sous la cloche grâce à l'humidité qui y est adhérente et aboutit au bois du poteau pour gagner, par un chemin semblable, le fil voisin. Ce circuit offrira une résistance très grande pendant les temps secs; mais si la pluie a duré longtemps, si elle a été violemment chassée de telle façon que la face inférieure des cloches a pu être

mouillée, si peut-être le brouillard règne, cette résistance diminuera et la dérivation pourra se produire plus ou moins intense. — La face inférieure des cloches en verre n'est point aussi isolante qu'on peut se l'imaginer. A la longue, il s'y forme souvent un léger dépôt de suie provenant de la fumée des locomotives. Cette faible couche devient facilement humide par les temps de brouillard ou de pluie et elle offre évidemment un passage trop facile aux dérivations ([8]).

Sur la ligne Lausanne-Fribourg, ce défaut d'isolement des

([8]) Le genre d'isolateurs employé sur les lignes suisses est, je crois, moins propre que d'autres à prévenir les pertes de courant et les dérivations. Les cloches en verre présentent seulement leur face inférieure comme résistance dès que la pluie tombe, et parfois cette surface est notablement réduite par les ruptures plus ou moins considérables que présentent les bords de la cloche. — On sait que les isolateurs adoptés dans les divers pays de l'Europe diffèrent fort les uns des autres; mais partout où l'on a voulu perfectionner l'isolement, on a reconnu la nécessité d'*augmenter l'étendue de la surface non conductrice que l'eau de la pluie ne peut pas mouiller directement*. Il est impossible d'éviter que cette surface inférieure ne devienne humide parfois, qu'elle ne se recouvre de poussières plus ou moins conductrices, et le seul moyen de diminuer les pertes provoquées ainsi, c'est de rendre plus long le trajet que doit parcourir le courant pour passer du fil au poteau.

Les isolateurs employés sur les lignes prussiennes, hanovriennes, danoises, russes, autrichiennes, etc. ont une première cloche en fonte dans l'intérieur de laquelle se trouve une deuxième cloche isolante en porcelaine, et c'est au centre de cette cloche intérieure que se trouve fixé le support sur lequel s'appuie le fil. Dans ce système, donc, les deux faces de la cloche isolante sont protégées contre la pluie. La *Compagnie du télégraphe électrique*, en Angleterre, emploie des isolateurs plus compliqués encore, mais très efficaces. Ils se composent de deux cloches concentriques de matière isolante. La surface inférieure de la cloche extérieure ne touche pas la face supérieure de la cloche qui est dedans. En outre, tout le système est supporté, suivant son axe, par une tige en fer recouverte de caoutchouc vulcanisé qui vient se fixer à un support horizontal en bois. Le fil de la ligne est attaché latéralement à la cloche supérieure. Il est évident qu'ici les surfaces inférieures et protégées présentent une grande étendue et le courant rencontre une résistance considérable pour passer du fil au poteau. Aussi l'isolement est-il très complet.

Les lignes établies près de l'observatoire de Greenwich, par M. Airy, pour l'étude des courants terrestres, et dont il sera question plus loin (§ 35), s'appuient sur des isolateurs très perfectionnés. Il y a d'abord une grande cloche extérieure en porcelaine au centre de laquelle est fixée, par un ciment, une cloche en ébonite. Cette seconde cloche est en quelque sorte double et c'est dans son intérieur que vient se planter, séparé par un ciment, le support en fer qui attache tout le système au poteau. Entre le bord inférieur de la cloche en porcelaine et le support en fer, il y a donc trois surfaces concentriques protégées contre la pluie et qui doivent offrir une très grande résistance aux dérivations.

On peut ajouter que la façon suivant laquelle le fil est fixé à l'isolateur n'est point indifférente. S'il enveloppe la cloche en verre d'un certain nombre de tours, comme c'est le cas en Suisse, il y aura une surface de contact, entre le métal et le verre mouillé, bien plus considérable que si le fil passe simplement dans une sorte d'anneau, comme c'est le cas dans les isolateurs prussiens, par exemple.

cloches en verre se manifeste entr'autres très vivement dans les tunnels de Grandvaux, la Cornallaz et Vauderens (9). Là, en effet, la fumée des locomotives persiste longtemps et la couche de suie qui vient tapisser la surface des cloches est plus considérable. En outre, dès que la pluie a persisté quelque temps, les infiltrations d'eau sont assez abondantes et les gouttelettes venant atteindre les supports en fer qui soutiennent les cloches, il y a un rejaillissement du liquide qui mouille la face inférieure du verre. Cette circonstance donne lieu à des pertes souvent notables de courant et M. Cauderay m'a donné à ce sujet des informations intéressantes. Il arrive souvent que la communication télégraphique entre les stations du chemin de fer de Lausanne à Fribourg est presque interrompue par cette influence des trois tunnels. M. Cauderay a vu le courant, lancé de Lausanne, donner 30° à la boussole ordinaire, quoique la ligne fût coupée à Fribourg ; le circuit se complétait donc uniquement par les pertes additionnées des supports et surtout par le défaut d'isolement dans les tunnels. D'autres fois, le courant de Lausanne est encore fort aux stations qui précèdent les tunnels de Grandvaux et de la Cornallaz; puis il est très faible à la station de Chexbres, immédiatement au-delà de la Cornallaz. — M. Cauderay fait de temps en temps laver les faces supérieures et inférieures des cloches en verre dans le parcours des tunnels pour ne pas avoir à souffrir de ces pertes trop considérables du courant.

Les deux lignes de l'administration fédérale qui marchent parallèlement à celle du chemin de fer doivent naturellement subir un sort analogue ; je ne sache pas cependant que ces lignes présentent, dans les tunnels, des pertes aussi fortes que celles dont je viens de parler. Il me paraît même certain que le défaut d'isolement n'y est pas très grave, au moins dans les temps secs, puisque j'ai constaté un grand nombre de fois l'absence complète de dérivations sur la ligne directe.

14. D'autres causes peuvent encore accidentellement mettre en communication deux lignes parallèles. Si les fils ne sont pas suffisamment tendus, ils subissent des flexions d'un poteau à l'autre et ces flexions étant inégales, les fils risquent de se trouver fort rapprochés. Ce fait se produit entr'autres souvent entre Fribourg et Berne où les poteaux sont en fer et ne permettent pas, paraît-il, un grande tension des fils. Il arrive, en plusieurs points, que les deux lignes sont écartées de quelques centimètres seulement et la moindre feuille, le moindre brin de chaume emporté par le vent peut s'arrêter en touchant simultanément les deux fils.

(9) La ligne Lausanne-Berne compte cinq tunnels présentant une longueur totale de 3400m environ.

Si ce corps intermédiaire est sec, l'inconvénient n'est pas grand ; mais s'il est mouillé par la pluie, il concourt évidemment à produire des dérivations comme celles qui sont signalées dans les expériences décrites plus haut.

III. Observations.

15. Les renseignements rapportés plus haut montrent que les indications du galvanomètre pouvaient quelquefois provenir des dérivations télégraphiques ou du moins être modifiées par elles. La part due à cette influence-là sera examinée et discutée plus tard (§ 17).

Afin de ne pas trop prolonger, je donnerai ici les résultats d'une partie seulement des jours d'observations en indiquant, d'une façon un peu brève, la marche de l'aiguille galvanométrique. — L'instrument était introduit dans la ligne de telle sorte que *l'aiguille déviait à l'Est pour un courant allant de Berne à Lausanne, par le fil*, et par conséquent *à l'Ouest pour un courant marchant de Lausanne à Berne.*

25 avril 1865.

Ciel d'apparence orageuse dans l'après-midi ; temps clair et calme le soir.

9 heures 35 minutes du soir. Déviation à 15° E., puis lents mouvements de 15 à 10°, puis 5°. L'aiguille est plusieurs secondes calme sur 8° E., puis mouvements vers 20, 25° et 30°.— Plusieurs secondes de calme sur 12 à 13° E.

9 h. 46 m. Lente oscillation de 10 à 15°.

47 m. Retour assez brusque à 0°, puis progression à 10° E.

49 m. Mouvements de 10° E. à 5° O.

57 m. Presque calme absolu sur 5 à 6° E ; faibles et lentes oscillations.

10 h. 1 m. ; 4 à 5° O., puis lent mouvement vers 10° E.

2 m. Grande, mais lente oscillation de 15° E. à 25° O.

10 m. Calme sur 5° E.

11 m. Pendant plus de 1 minute, calme absolu sur 5° E. ; puis accroissement lent jusqu'à 8°. Ce mouvement de 5 à 8° dure au moins 5 minutes.

17 m. Le calme sur 8° se maintient, puis quelques mouvements brusques surviennent et l'aiguille revient sur 7 à 8° E.

20 m. Très lent accroissement de 7 à 10°, puis progression plus rapide de 10 à 20°.

23 m. Aiguille très calme sur 24° E.

25 m. Retour à 16°, puis 13°; puis nouvelle déviation à 26 m. vers 20°.

27 m. Lente progression jusqu'à 30° E., suivie d'un lent retour vers 20 puis 15°.

28 avril.

Temps calme, beau et chaud.

Midi et 14 m. Déviation à l'E. 6 à 7°.

16 m. Calme sur 6°.

17 m. Calme sur 6.

19 m. Lente oscillation entre 6 et 4°.

20 m. Lent mouvement vers 3° puis 2°.

21 m. Oscillation lente entre 1° et 6°.

25 m. 4 à 5°.

26 m. Accroissement lent vers 6 à 7°.

29 m. Lent mouvement entre 5 et 7°, puis 3°.

30 m. Sensiblement calme de 3 à 4°.

33 m. Calme sur 4°.

30 avril.

Ciel couvert. Légère pluie commençante; sol encore sec.

Midi et 17 m. Déviation vers 12° E., lent mouvement vers 13 et 15°.

20 m. 21° E., puis lent mouvement vers 15°, retour à 20°.

24 m. Mouvement très lent et régulier de 16 à 20°.

27 m. 20 à 22°, très calme.

28 m. 20 à 22°, très calme.

30 m. Lente oscillation entre 18 et 28°.

32 m. Calme presque absolu vers 24 à 25°.

1er mai.

Ciel un peu nuageux; temps calme. Il a un peu plu hier dans la soirée.

6 h. 25 m. du matin.—Déviation de 4° E., puis lent retour à 0°.

26 m. 1° O.

29 m. Oscillations lentes de 0° à 4° O.

31 m. 5 à 6° O.

32 m. Très lente oscillation de 0° à 6° O. puis 8°.

33 m. Mouvements hésitants et rapides de l'aiguille entre 3 et 4° O.

40 m. 5° O., puis progression vers 8 et 9° suivie de mouvements brusques et saccadés.

42 m. 5 à 6° O.
44 m. Calme sur 5° O.
45 m. Lents mouvements entre 0° et 9° O.

5 mai.

Temps calme; ciel nuageux.
Midi et 5 m. Déviation de 18° E., puis lent retour à 12°.
8 m. Calme parfait pendant plus de une minute sur 14°.
10 m. 17°, puis lent mouvement vers 15°, 13 puis 11°.
12 m. Mouvement lentement progressif de 11 à 17°.
15 m. 16°
17 m. 16 à 17°.
20 m. Lente progression vers 20°.
23 m. 18° puis lent retour à 12 et 8°.
28 m. 15°.

8 mai.

Ciel couvert et un peu pluvieux. — Orage pendant la nuit.
6. h. 17 m. du matin. — Déviation vers 10° E.
18 m. Mouvements brusques autour de 10°.
20 m. Oscillation de 12 à 15°.
22 m. Oscillation de 12 à 15°.
24. m. Mouvements rapides de 10 à 13°.
26 m. 6° E.
30 m. Un lent mouvement a amené l'aiguille vers 10° O. puis 12°.
32 m. Presque calme vers 10 à 11°, puis lent retour à 0°
33 m. 5° E.
34 m. Lente progression à 10° E., puis retour vers 0° et à l'O. Lent mouvement vers 10° O., puis 12, puis 15, puis 17° et arrêt absolu.
36 m. 10° O.
37 m. 25 à 27° O. puis 28. Parfaitement calme sur 27°.
40 m. 12° O., puis 8°, puis 7°, puis 3° et retour vers 0° après 3 minutes.
43 m. 0°.
44 m. 0° à 1°, puis 5° E. et brusquement 10 à 13° E., puis 15, puis 17°.
45 m. Légères oscillations autour de 18° E.

9 mai.

Orage pendant le jour. Temps calme, ciel clair le soir.
9 h. 35 m. du soir. Déviation de 10 à 15° E., puis calme sur 13°.

37 m. Très calme sur 13°.
38 m. Très calme sur 12 à 13°.
39 m. L'aiguille se rapproche lentement et progessivement de 10°, puis 9 et 8°.
42 m. Absolument calme sur 8°.
44 m. Absolument calme sur 8°.
45 m. 9°, puis 10°. Mouvements très lents et réguliers en plusieurs minutes.
54 m. 12° E., puis oscillations assez brusques et retour vers 2°, puis progression vers 10°.
55 m. 9°, puis retour à 6 et 5°
58 m. Mouvements hésitants et saccadés de l'aiguille vers 4 et 5°, puis 8 et 9°.
10 h. 2 m. Mouvements assez brusques vers 3, puis 2, puis 8, 9°, puis 3, 2°.
8 m. Presque calme vers 2 à 3°.
10 m. Presque calme vers 2 à 4°.
12 m. Calme sur 4°.
18 m. Calme sur 3 à 4°.
20 m. Calme sur 4°.
21 m. Lente progression à 6, puis 8 et 9°.
23 m. Oscillation de 10 à 15°, puis retour à 0° et même passage à l'O. Brusques mouvements et hésitation de l'aiguille entre 0° et 25° E.
29 m. 18° E.
30 m. 10 à 12°.
31 m. 20° E. puis 22, 23°.

10 mai.

Quelques rares nuages élevés. — Soleil.
6 h. 12 m. du matin. Déviation de 2 à 3° E., puis lente oscillation de 3 à 1°.
16 m. 4°.
18 m. Très lent mouvement de 2 à 3°, puis 0°, puis 1°.
24 m. 1 à 1 $^1/_2$°.
28 m. 1° E.
29 m. 1° O., puis retour à 3° E.
32 m. 0 à 1°.
34 m. 2°, très calme.
35 m. 4 à 5° E.
39 m. Lents mouvements autour de 2° ou presque calme.
41 m. 2 à 3°.
43 m. Absolument calme sur 2°.

11 mai.

Ciel partiellement couvert. Il a plu pendant le jour.
9 h. 37 m. du soir. Déviation de 10 à 15° E., puis retour vers 6°.
41 m. Oscillations autour de 4°.
43 m. Aiguille tremblante vers 1 à 2° E.
45 m. 1 à 2° O.
47 m. 1 à 2° O.
53 m. 2 à 3° O, puis progression vers 5° avec des mouvements tremblotants.
55 m. 0 à 1° O.
10 h. 0 m. 3 à 4° O.; aiguille hésitante.
4 m. Mouvements entre 4 et 5° O.
5 m. 9° O., puis 10°, puis lente et calme progression vers 11 et 12°, puis 14, 16, 17°. L'aiguille était un peu hésitante pendant le mouvement progressif.
9 m. 17° O., puis lent et calme retour vers 15, 10, 8, 3° et passage à l'E.
12 m. Petites oscillations de 2 à 3° E., puis 4 à 5°, puis 8, 9°.
19 m. Passage de nouveau à l'O.
22 m. Calme absolu sur 6° O., puis lent retour à 0°.

12 mai.

Ciel presque pur ; un peu nuageux à l'horizon.
Midi et 16 m. Déviation de 15° E.
17 m. Très calme sur 15°.
18 m. 16 à 17°.
20 m. Très calme sur 16°.
22 m. Très calme sur 14 à 15°.
24 m. Très calme sur 16°.
25 m. Lent retour vers 12 et 11° ; absolument calme sur 11°.
32 m. Absolument calme ou mouvements imperceptibles autour de 13°.
34 m. Très calme sur 14°.
35 m. Très calme sur 14°.

14 mai.

Nuages noirs et d'aspect orageux chassés par le vent du S.-O. — Petites averses.
Midi et 12 m. — Déviations de 37° E., puis mouvement assez rapide vers 25 et 20°.
14 m. 31 à 32° E. ; retour vers 22 et 21°.

15 m. Lente progression de 19 à 20, puis 25°; arrêt sur 25°, puis nouvelle progression à 26, 27° et brusque retour vers 0° et à l'O.

16 m. 3° O., puis grande oscillation vers 20° E. et progression vers 38° E.

17 m. Calme sur 42° E., puis 44, 45° et lent retour vers 25°.

20 m. Nouvel écart jusqu'à 40 et 43° E. — Absolument calme au moins une minute sur 42°, puis brusque retour à 5° et 0°.

24 m. 5 à 6° O. et assez fortes oscillations.

25 m. 12° O., puis passage à l'E.

27 m. Rigoureusement calme sur 20° E.

28 m. Oscillations étendues de l'aiguille de 19° E. à 18° O. et bientôt après arrêt sur 18° O.

30 m. Retour à 0°, puis passage à l'E. Calme sur 25°.

34 m. Mouvement de 20 à 10° O, puis 25° et calme absolu pendant plus de 30 secondes.

35 m. Rigoureusement calme sur 32° O., puis progression à 34 et 37° O.

15 mai.

Nuages épais. Pluie pendant la nuit. Aspect orageux.

4 h. 11 m. du matin. Déviation de 14° E., puis bientôt après 12, 10, 9°.

14 m. Petits mouvements de 8 à 6°.

15 m. Mouvements vers 5 puis 4°.

17 m. Mouvements continuels, quoique calmes, de 3 à 5°, puis 6, 7, 8°. — Quelques oscillations assez rapides.

21 m. Lente progression à 12, puis 17, 19, 20°.

23 m. Très calme sur 21°

25 m. Retour à 14 et 10°, puis de nouveau 15, 17, 18°, mouvements parfois très calmes, d'autres fois assez brusques.

28 m. Oscillation rapide de 9 à 3°, puis retour à 7 et 8°.

33 m. Aiguille très agitée entre 7 et 12° pendant plusieurs minutes.

52 m. Tout à coup forte oscillation de 30° E. à 10 O., puis bientôt après calme sur 6 à 7°.

54 m. Très calme sur 7 à 8°.

59 m. Lente augmentation à 13°, puis oscillation subite et progression vers 18°.

5 h. 2 m. Mouvements variés et hésitants de l'aiguille, souvent très brusques.

6 m. Rapide retour à 0°, puis écart à l'Ouest.

10 m. Passages fréquents et brusques à l'E. puis à l'O.

15 m. Calme un moment sur 9° O., puis retour à l'E.

18 m. Lente progression de 10 à 13° E.

24 m. Très calme sur 10° E.
25 m. Mouvements rapides de 6 à 12°.

16 mai.

Ciel en partie couvert. Pluie abondante pendant le jour. Air calme.

9 h. 40 m. du soir. — Déviation à l'E., 15°, puis mouvements hésitants et saccadés. — Agitation continuelle de l'aiguille.

41 m. Temps d'arrêt sur 12°.

45 m. Très calme sur 10°, puis lent retour à 8° et temps d'arrêt.

47 m. Légers monvements autour de 10°.

51 m. Forte oscillation vers 0° et vive hésitation de l'aiguille.

52 m. Calme sur 9°.

53 m. Très calme sur 9°.

55 m. Progression lente et régulière à 11°, puis 12 et 15°.

56 m. Très calme sur 12°.

57 m. Très calme sur 12 à 10°.

59 m. Très calme sur 12 à 10°.

10 h. 0 m. Tout à coup oscillation forte vers 0°, aiguille tremblante et grands mouvements de 40° E. à 20° O.—L'aiguille finit par se calmer sur 10 à 12° E.

4 m. Calme vers 14°, puis lente progression vers 18°.

17 mai.

Ciel pur. Temps calme.

4 h. 12 m. du matin. Déviation de 15° E., puis progression à 20 et 21°.

18 m. Mouvements continuels de 20 à 25°, puis 10°.

20 m. 5, puis 4, puis 1° et passage à l'O. Retour à l'E.; progression à 15, 20, 25°. — L'aiguille présente tantôt des mouvements lents et calmes quoique continus, tantôt des temps d'arrêt absolu de plusieurs secondes.

26 m. Oscillations de 30 à 25° E., puis retour à 0° et écart à l'O.

27 m. 11° O., puis retour à 0° et à l'E.

29 m. 30° E., puis 35; l'aiguille est calme plus de 30 secondes sur 35°.

32 m. De 30 à 35° E.

36 m. Agitation assez prononcée entre 20 et 25°. Il y a cependant des temps d'arrêt absolu.

40 m. Déviation O. de 4 à 5°.

5 h. 3 m. Lente progression à 30° E., puis lent retour à 15 et 10°.

6 m. Très calme sur 32° E.

9 m. Déviation de 10° O., puis lent retour à 0° et passage à l'E.

18 m. 5 à 6° E., puis progression e 20°

21 m. Arrêt prolongé de *deux* minutes sur 20°, puis lente oscillation de 20 à 25° ; nouvel arrêt sur 25°.

18 mai.

Très nuageux ; pluie. Pluie durant le jour.

9 h. 43 m. du soir. Déviation de 12° E.

45 m. Assez calme sur 13 et 14°. Très calme par moments.

46 m. Tout à coup brusques oscillations de l'aiguille entre 0 et 30°.

47 m. Très calme sur 12°, puis lent accroissement à 15, 20 et 25°.

49 m. Rapides oscillations de 5 à 20°.

50 m. Calme un moment sur 16°, puis mouvements rapides.

51 m. Très calme sur 15°.

52 m. Très calme sur 15°.

53 m. Très calme sur 15°.

54 Après un lent retour à 13°, surviennent de fortes oscillations entre 0 et 20° ; aiguille tremblante et hésitante.

57 m. Calme sur 13°.

58 m. Calme sur 13°.

10 h. 1 m. Calme sur 12°.

4 m. Lents mouvements entre 12 et 11°.

5 m. Une forte oscillation est tout à coup survenue entre 10 et 0°.

7 m. Nouveau calme sur 13°

9 m. Imperceptibles mouvements de $^1/_2$° au plus autour de 13°.

13 m. Très calme sur 15 et 16°.

15 m. Lente progression à 17 puis 19° et arrêt absolu.

16 m. Repos sur 18°, puis lent accroissement à 19 et 22°. De violentes oscillations surviennent brusquement. Aiguille hésitante.

18 m. Calme sur 19 à 20°.

19 m. Calme sur 19 à 20° ; puis brusque et subite oscillation entre 22 et 10°.

22 m. Calme sur 20°, puis lent accroissement à 23 et 24°.

25 m. Calme sur 21°.

22 mai.

Un peu nuageux. Temps calme et sec depuis plusieurs jours.

4 h. 10 m. du matin. — Déviation E. de 5°, puis oscillations vers 2 et 1°.

12 m. Lent mouvement vers 8 à 9° E.

15 m. Oscillation de 1 à 7° avec des temps d'arrêt.

16 m. Ecart à l'O., 7 à 8°, puis retour à 0 et passage à l'E.

21 m. Lente progression à 11 puis 13° E. Calme un moment sur 12.

22 m. Retour à 6 et 5° E., puis 1° et déviation à l'O.

25 m. 1 à 2° E., puis 4 à 5° O.

L'aiguille présente des mouvements lents et calmes, mais continuels.

27 m. 5 à 7° E., puis passage à l'O.

45 m. Mouvements entre 5 et 12° E. Calme complet un moment sur 11°, puis mouvements lents entre 8 et 10° E. et 7 à 8° O.— L'aiguille continue à présenter une agitation incessante, quoique les mouvements ne soient ni brusques, ni saccadés.

57 m. Très calme un moment sur 5°, puis lente et régulière progression à 9 puis 14 et 15°.

59 m. Très calme sur 14°.

5 h. 2 m. Calme sur 18 à 19° E. Faibles mouvements de 20 à 21°.

4 m. Très calme sur 20°.

6 m. Très calme sur 20°.

7 m. Très calme sur 20°.

8 m. Calme entre 19 et 20°.

23 mai.

Temps orageux. Beau pendant le jour; mais orage vers 10 h. du soir.

9 h. 45 m. du soir. L'aiguille vient osciller autour de 10°.

52 m. Assez calme sur 20°.

53 m. Violente impulsion vers l'O. correspondant à une secousse orageuse qui se fait sentir sur l'appareil télégraphique de la ligne de Vevey.

54 m. Calme sur 19°; puis nouvelle secousse comme celle de 53 m.

57 m. Très calme sur 17°.

59 m. Calme entre 17 et 15°.

Tout a coup violente impulsion vers 50° O. en même temps que l'appareil de la ligne de Vevey accuse une décharge orageuse.

10 h. 1 m. Très calme sur 12 à 13°.

4 m. Parfaitement calme sur 15°.

Nouvelle impulsion vers 90° O. coïncidant encore avec une attraction vive de l'ancre à l'appareil de la ligne de Vevey.

5 m. Très légers mouvements de 16 à 18°. — Cinquième secousse orageuse comme les précédentes.

8 m. Très calme sur 15°.

9 m. Très calme sur 15°.

11 m. Remarquablement calme sur 16 à 17°.

18 m. Calme sur 17 e 18°, puis très lente progression à 20 et 22 puis 25°.

25 m. Très calme sur 23° et lent retour à 20. Le mouvement se continue extrêmement lent à 18°, 17, 16, jusqu'à 10, en plusieurs minutes.

24 mai.

Temps très couvert. Pluie.

4 h. 30 m. du matin. — Déviation de 20° E., puis mouvement entre 20 et 15°.

32 m. Calme un moment sur 18°, puis retour vers 15°.

36 m. Très lent déplacement vers 14 et 12°. — Un moment rigoureusement calme sur 15°.

38 m. Calme sur 16°, puis lent accroissement à 18 et 19°, puis calme complet.

44 m. Calme sur 18°.

48 m. Légers mouvements de 14 à 17°.

50 m. Lente progression à 19°.

55 m. Faible variation autour de 16°.

59 m. Lent déplacement de 16 à 10°.

5 h. 3 m. Aiguille calme sur 9°.

5 m. Encore calme sur 9°, puis mouvement vers 7 et 6°.

7 m. Accroissement régulier vers 12 et 14 et retour à 10.

Les mouvements de l'aiguille se continuent ainsi jusqu'à 5 h. 18 m. où la déviation diminue assez brusquement jusqu'à 6 et 5°, puis se maintient de 6 à 4° pendant quelques minutes.

26 m. Accroissement très lent de la déviation de 8° à 19 et 20°. Ce mouvement tout à fait uniforme s'effectue en une demi-minute à peu près.

29 m. 22 puis 23° et lent retour vers 20 et 19°.

25 mai.

Temps beau, sec ; un peu de bise.

9 h. 45 m. du soir. Déviation de 23° E.

46 m. Sensiblement calme sur 23° E.

47 m. Sensiblement calme sur 23° E.

48 m. Très légers mouvements autour de 23°.

51 m. La déviation varie de 22 à 23°.

52 m. Lent mouvement progressif vers 26°.

54 m. Très calme sur 25°.

59 m. Lentes variations entre 24 et 28°.

10 h. 2 m. Oscillations assez rapides entre 20 et 25°.

4 m. Calme sur 22°. Le calme se maintient presque complet pendant plusieurs minutes entre 20 et 22°.

16 m. Variations lentes de 1 à 2° d'amplitude entre 21 et 23°.

26 mai.

Temps beau et sec; un peu de bise.

Midi et 25 m. Déviation de 40° E., puis accroissement à 43.

26 m. Légers mouvements entre 42 et 39°.

29 m. Retour régulier de l'aiguille vers 30 puis 25°; nouvelle progression à 28 et 31°, puis nouveau retour à 20, 16 et 10°.— Ces mouvements sont très lents et sans saccades.

31 m. Nouvelle progression à 33°, suivie d'un temps d'arrêt absolu.

28 mai.

Temps très beau; faible bise.

Les observations poursuivies entre midi et midi et demie donnent des déviations semblables à celles du 26 mai. Ces déviations sont à l'E., le plus ordinairement supérieures à 20° et les variations sont lentes et calmes. — Vers midi et 27 m. commence un accroissement de la déviation qui se continue très régulièrement et très lentement de 26° à 32°; ce mouvement dure à peu près deux minutes puis l'aiguille se conserve jusqu'à 31 m. parfaitement calme sur 32°.

29 mai.

Ciel clair, un peu nuageux seulement à l'horizon. Temps sec.

4 h. 12 m. du matin. Déviation de 7° E., accroissement jusqu'à 10°, puis retour à 5°.

13 m. Mouvements continuels, séparés par des temps d'arrêt absolu, entre 10 et 2°.

16 m. Progression régulière jusqu'à 15°, puis retour à 9 et 5°. — Le mouvements se continue à l'E. jusqu'à

26 m. où la déviation se produit à l'O. et y atteint 5°.

27 m. Agitation dans le voisinage de 0°, puis déviation vers 8° O. avec lent retour à l'E.

35 m. Les mouvements de l'aiguille se continuent sans interruption entre 5 à 6° O. et 15° E.; arrêt absolu de plus d'une demi-minute sur 15° E.

45 m. L'agitation de l'aiguille est continuelle; elle atteint dans ses excursions, toujours assez lentes et sans saccades, 17° E.

50 m. Les déviations atteignent 20° E. Il y a de grandes et continuelles oscillations de plusieurs secondes de durée et de plus de 10° d'amplitude.

5 h. 5 m. L'aiguille, toujours agitée, se maintient de plus en plus écartée du zéro. Elle arrive à 25 et 28 E.

11 m. Rigoureusement calme sur 23°.

14 m. Retour à 20°, puis 18, puis 14 et 10°.

A partir de maintenant jusqu'à 5 h. 30 m., la déviation se maintient toujours supérieure à 10° E. et l'aiguille est plus calme que durant la première heure de l'observation.

30 mai.

Temps beau et sec. — Quelques nuages d'aspect orageux traversent le ciel.

Entre 9 h. 35 m. et 10 h. 22 m. du soir, la déviation a toujours été à l'E., en général supérieure à 10 et parfois supérieure à 20°. L'aiguille a été beaucoup moins agitée et les variations beaucoup moins fréquentes que hier.

31 mai.

Ciel un peu nuageux.

4 h. 9 m. du matin. Déviation de 22° E., puis oscillations atteignant 25°.

15 m. L'aiguille semblait subir une impulsion calme et régulière qui l'a amenée de 25 à 15°, puis de 15 à 11°.

Temps d'arrêt absolu sur 11°, puis accroissement à 14° et nouvel arrêt.

20 m. L'aiguille se rapproche lentement du 0 et y arrive à 22 m. Oscillations assez brusques entre 0 et 20° E.

26 m. Mouvements continuels de plus de 20° d'amplitude avec des temps d'arrêt.

34 m. La déviation de l'aiguille continue à varier presque sans interruption; mais il y a des arrêts absolus entre 2 et 25° E.

5 h. 6 m. Depuis plus de 8 minutes, la déviation se conserve supérieure à 20° E.; elle varie avec quelques degrés d'amplitude.

12 m. L'aiguille s'est rapprochée de 0° et passe même à l'O. Variation entre 5° E. et 3° O.

14 m. Déviation O. persistante, de 4 à 5°.

16 m. Retour à l'E.; arrêt sur 5° E.

17 m. La déviation augmente et atteint 19 et 20° E. Il y a des repos absolus de plus de une minute.

23 m. Légers mouvements entre 16 et 19° E.

25 m. Calme absolu sur 22° E., puis l'aiguille se rapproche lentement du 0° et passe même à l'O.

29 m. Retour vers 9 à 10° E.

16. Examinées d'un peu près, les observations qui précèdent suggèrent des remarques diverses.

En premier lieu, on voit que le fil était parcouru tantôt par un courant marchant de Berne à Lausanne, tantôt par un courant inverse et, ce qui frappe au premier abord, c'est l'extrême variabilité du courant en intensité et en direction. Il est évident toutefois que le courant de Berne à Lausanne est le plus fréquent et en tenant compte de *tous* les jours d'observation, je trouve que plusieurs fois le sens du courant s'est maintenu exclusivement dans cette direction pendant une heure et plus, surtout vers le milieu de la journée. D'autres fois, le sens du courant a changé à plusieurs reprises pendant les courts moments où le galvanomètre était intercalé dans le circuit; mais alors également, la déviation de l'aiguille était plus fréquemment à l'est qu'à l'ouest. Il y a un seul jour (le 24 avril, entre 6 h. et 6 $^3/_4$ h. du matin), où l'aiguille a toujours été déviée à l'ouest et où, par conséquent, le courant a été constamment de Lausanne à Berne.

Quant à l'intensité du courant, on voit qu'elle était fort variable d'un jour à un autre. Certains jours, l'aiguille était presque constamment très éloignée du 0° (14 mai, 17 mai, etc.) d'autres fois, la déviation était plus faible (1 mai, 10 mai, 22 mai, etc.)

Mais ce qui est surtout intéressant à considérer, c'est la variabilité du courant d'un instant à l'autre. Les pages qui précèdent ne peuvent manifester ce caractère que d'une façon assez imparfaite ; il faudrait, pour tous les jours, les courbes des observations afin de bien le mettre en évidence. On peut dire que, dans la grande majorité des cas, *l'aiguille variait de position d'une seconde à la seconde suivante*. Tantôt ses mouvements étaient assez rapides pour que plusieurs degrés fussent parcourus en moins d'une minute, tantôt ils étaient extrêmement lents. Les exemples de repos absolu de l'aiguille sont, en somme, assez rares et, en tout cas, ces repos ne se prolongeaient guère au-delà de deux ou trois minutes (voir les 8 mai, 9 mai, 12 mai, etc. et spécialement le 25 mai, à 10 h. 4 m. du soir). — Les mouvements présentaient le plus souvent une régularité et une uniformité remarquables. Ce n'était pas ce déplacement brusque que manifeste une aiguille au moment où un courant est lancé dans le fil d'un galvanomètre; c'était une progression lente, régulière, uniforme, pendant plusieurs minutes parfois. Evidemment, le courant qui parcourait le fil éprouvait une variation lente et régulière d'intensité et les mouvements de l'aiguille ressemblaient un peu à ceux qu'on observe lorsque l'on augmente ou diminue peu à peu la résistance d'un circuit à l'aide du rhéostat de Wheatstone (voir, entr'autres, les 25 avril, 5 mai, 23 mai, 28 mai, etc.). — Après une de ces lentes variations, l'aiguille arrivait ordinairement à un calme absolu, puis, après s'être arrêtée quelques instants, elle marchait de nouveau dans le

même sens ou revenait en arrière. On ne peut se faire une idée un peu juste de ces mouvements qu'en les traduisant par des courbes. On en trouvera trois exemples dans la planche I. Ces courbes ont été tracées, sur un papier préparé, à côté même du galvanomètre, en suivant d'une part l'aiguille des secondes d'une montre et d'une autre part le galvanomètre.

La courbe du 31 mai montre des variations brusques et considérables du courant ; tantôt il y a augmentation rapide (à 30^m 10^s ; 31^m, etc.), tantôt variation plus lente (de 30^m 12^s à 30^m 38^s), ou même repos absolu pendant plusieurs secondes (de 30^m à 30^m 5^s ; de 31^m 21^s à 30^s, etc.). Deux fois, en deux minutes, le courant a marché pendant quelques secondes (29^m 18^s à 22^s ; 30^m 50^s à 30^m 58^s) de Lausanne à Berne, c'est à dire que l'aiguille du galvanomètre a passé à l'ouest.

Le 17 mai, à 4 h. 22 m. du matin, on voit que les périodes de constance du courant sont plus fréquentes et plus prolongées que dans l'exemple précédent ; mais il y a aussi des variations brusques et bizarres succédant à des intervalles de calme pour l'aiguille.

La courbe du 16 mai, 9 h. 45 m. du soir, montre un état relativement fort calme du galvanomètre pendant 5 minutes. On voit, entr'autres, que de 46^m 45^s à 48^m 15^s, le courant a été très sensiblement constant et donnait environ 10° $^1/_2$ au galvanomètre ; puis il a lentement diminué jusqu'à 8° pour s'accroître de nouveau et dépasser 10°.

IV. De la part des dérivations télégraphiques dans les observations précédentes.

17. Les observations rapportées dans le chapitre précédent montrent que le fil en expérience était constamment parcouru par des courants variables en intensité et en direction. Mais, après les faits cités dans le chap. II, il importe de voir si ces courants ne peuvent pas être dus, en totalité ou en partie, à des dérivations télégraphiques. Ces dérivations ont été si sûrement et si nettement constatées qu'il est nécessaire de rechercher quelle a pu être leur influence et leur part dans les faits rapportés § 15.

Il est possible, je crois, de prouver complétement que la grande majorité de ces faits est indépendante d'une influence télégraphique et que la plupart des courants notés plus haut doivent provenir d'autres causes que de dérivations dues à un défaut d'isolement

des poteaux. Voici les diverses considérations qui peuvent être invoquées pour éclaircir ce sujet :

a) Dès les premiers jours après le commencement des essais, et après avoir aperçu des dérivations télégraphiques prononcées, je désirai savoir si ces dérivatious étaient la seule cause des mouvements de l'aiguille du galvanomètre. Sur ma demande, M. le Directeur des télégraphes eut l'obligeance de donner les ordres nécessaires pour que les bureaux de Berne et de Lausanne pussent se prêter aux expériences que je projetais. Ces expériences eurent lieu le 2 mai, dans la soirée. Ce jour-là, le galvanomètre introduit dans le circuit à 9 h. 44 m. présenta une déviation de 8 à 9° E. ; l'aiguille était assez calme et ne varia que lentement de quelques degrés durant plus de vingt minutes. Jusqu'à 10 h. 20 m., on continua les opérations ordinaires de la télégraphie à Lausanne et à Berne; l'aiguille varia entre 8 et 2° E., présentant des mouvements tout semblables à ceux du 25 avril, par exemple.

A 10 h. 32 m., la station de Berne coupa toutes ses lignes, aucun courant ne pouvait y parvenir d'une station étrangère et la ligne directe seule y communiquait avec le sol. Cet état de choses dura deux minutes et pendant ce temps l'aiguille du galvanomètre présenta une déviation variant de 8 à 4°, elle se rapproeha de 0° à 10 h. 34 m.

A 10 h. 34 m., Berne rétablit ses relations ordinaires avec les diverses lignes, l'aiguille arriva à 6° E., puis oscilla faiblement entre 6 et 4° jusqu'à 10 h. 36 m.

De 10 h. 36 m. à 10 h. 39 m., la station de Lausanne interrompit à son tour toutes les communications, et pendant ce temps le galvanomètre se maintint entre 4 et 5° avec de très légers mouvements de l'aiguille.

De 10 h. 39 m. à 10 h. 42 m., Lausanne rétablit ses relations habituelles et des courants furent lancés dans diverses directions. L'aiguille du galvanomètre continua ses calmes monvements entre 3 et 5° E.

De 10 h. 42 m. à 10 h. 44 m., les deux stations de Berne et de Lausanne interrompirent simultanément toutes leurs communications. La déviation galvanométrique se maintint de 3 à 4° E., fort calme et elle diminua un peu à 2°, entre 44 et 45 m. A 44 m., les deux bureaux rétablirent les fiches de leurs rhéostats et lancèrent des courants dans diverses directions. Berne, entr'autres, lança des courants intermittents sur la ligne de Paris, parce que nous avions été amenés à supposer (voir § 8) une dérivation entre cette ligne-là et celle de mes expériences.—Le galvanomètre présenta des déviations, toujours à l'E., de 2 à 4 et 5° avec mouvements lents et calmes de l'aiguille, à peu près comme ceux de la courbe du 16 mai.

Ces essais établissent nettement que les courants accusés au

galvanomètre étaient absolument indépendants de toute influence télégraphique et qu'il y avait, ce soir-là, un courant faible, variable d'intensité d'un moment à l'autre, marchant de Berne à Lausanne et entièrement étranger à ceux que produisaient les bureaux télégraphiques.

J'ajouterai que, sur ma demande, M. Cauderay avait eu la bonté de donner des ordres pour que, à partir de 10 h. 20 m., il n'y eût plus aucune communication échangée entre les stations du chemin de fer.

b) On a vu, dans le chap. II, que, plusieurs fois, les tentatives faites pour constater des dérivations télégraphiques sont demeurées infructueuses (ex. le 21 mai, le 30 mai, etc.) On peut donc affirmer que, ces jours-là, les courants signalés par le galvanomètre ne pouvaient point provenir des télégrammes qui circulaient sur les lignes voisines du fil direct, et si l'on consulte des détails du § 15 on verra que ces courants étaient fort variables en intensité et en direction.

c) Sur la direction Lausanne-Berne, il n'y a aucune relation télégraphique établie après 11 heures du soir et avant six heures du matin. ([10]) Les communications de nuit qui se font entre Genève et Bâle ou Genève et St Gall empruntent la ligne directe ou bien une ligne Genève-Lausanne-La Chaux-de-Fonds, etc. Or, lorsque je me mettais en observation à 4 h. du matin, j'occupais, par cela même, la ligne directe entre Lausanne et Berne, et les relations entre Genève et la Suisse allemande se faisaient par la Chaux-de-Fonds.

Quant à la ligne du chemin de fer, elle n'était jamais employée avant 5 heures du matin, départ du premier train de Lausanne pour Berne.

Il est donc sûr que, de 4 à 5 h. du matin, la ligne en expérience ne pouvait recevoir aucune dérivation télégraphique puisque tout était au repos électrique autour d'elle. Or, si l'on consulte les détails des observations citées plus haut, on verra que *c'est précisément à cette heure matinale que le galvanomètre a accusé la plus grande variabilité des courants*, et dès lors on est obligé d'admettre que ces courants ont bien une origine autre que l'influence télégraphique.

d) Les courants employés dans la télégraphie sont, on le sait, essentiellement intermittents. Ils produisent donc, dans un galvanomètre, des mouvements brusques et oscillatoires de l'aiguille. L'aiguille est hésitante, tantôt vivement déviée, tantôt presque immobile. — Il est certain que les dérivations des courants télégraphiques qui pouvaient atteindre le fil direct devaient présenter le

([10]) Un service de nuit a été établi plus tard à la station de Lausanne. Mais il n'existait pas à l'époque des observations.

même caractère intermittent et déterminer, dans l'aiguille du galvanomètre, la même agitation que celle qui s'observe aux boussoles des bureaux télégraphiques.

Afin de bien apprécier cette influence, on a disposé l'essai suivant. Un courant constant est lancé dans un des circuits du galvanomètre et dévie l'aiguille d'environ 20°. Un deuxième courant est lancé dans un autre circuit et passe par un levier-clef télégraphique. En manœuvrant ce levier-clef comme pour la transmission de signaux, on produisait donc le même effet que celui qui devait résulter de dérivations passant sur la ligne directe. Or, le mouvement produit dans l'aiguille diffère entièrement de ceux qui se sont montrés dans la très grande majorité des observations. Ce mouvement est représenté dans la courbe ponctuée *xyz* (Pl. I). On voit que c'est une oscillation brusque de l'aiguille où une déviation dans un sens est immédiatement suivie d'une déviation en sens inverse. — La comparaison de cette courbe avec celles qui l'accompagnent montre sûrement que pour ces dernières il n'y avait point une dérivation télégraphique.

Dans les observations rapportées plus haut, il arrivait assez fréquemment que la déviation de l'aiguille changeait rapidement de plusieurs degrés; mais même alors, dans la plupart des cas au moins, le mouvement était tout autre que celui manifesté par la courbe *xyz*. Un déplacement dans un sens n'était pas suivi d'un déplacement semblable en sens inverse et en outre la rapidité de cette déviation était toujours beaucoup moindre.

Cette considération de la *forme* des mouvements de l'aiguille du galvanomètre a une grande portée dans cette discussion, et ce motif-là seul me paraîtrait suffisant pour permettre d'affirmer qne la presque totalité des variations de courants observées et rapportées plus haut ne peuvent pas provenir de dérivations télégraphiques.

e) Une dernière remarque, enfin, peut être faite. Les phénomènes présentés par le galvanomètre ne sont point semblables d'un jour à l'autre. Tantôt la déviation de l'aiguille est plus forte, tantôt elle est plus faible. Parfois le courant est sensiblement constant ou ne varie que lentement, parfois au contraire l'aiguille est toujours mobile. Ces différences d'un jour à l'autre ne se comprendraient absolument pas si les perturbations télégraphiques avaient une influence prépondérante.

Les considérations qui viennent d'être développées m'ont paru nécessaires pour bien faire apprécier quelle a pu être la part des influences télégraphiques dans les observations rapportées plus haut. Dès que cette perturbation télégraphique a été reconnue comme réelle et possible, on est très disposé à lui accorder une large part et les phénomènes observés ne paraissent plus alors présenter qu'un médiocre intérêt. Mais il importe de ne se laisser trom-

per ni dans un sens ni dans un autre et les réflexions précédentes montrent, ce me semble, que dans la très grande majorité des cas les courants signalés par le galvanomètre doivent s'attribuer à des causes étrangères à la télégraphie.

18. Les dérivations télégraphiques sont donc certainement très exceptionnelles, mais il n'en serait pas moins d'un grand intérêt de pouvoir les reconnaître avec sécurité; cela, malheureusement, est extrêmement difficile, sinon impossible dans les conditions où j'étais placé. Ces dérivations pouvant provenir de plusieurs stations de l'administration fédérale ou du chemin de fer, il n'y aurait aucun avantage à considérer seulement comme suspectes les observations faites pendant que des courants arrivaient à la station de Lausanne ou en partaient.

Dans la longue série des mouvements de l'aiguille qui ont été observés, il y en a que je n'hésite pas à attribuer à des influences télégraphiques. Ainsi, le 16 mai à 9 h. 50 m. du soir, après un calme presque parfait, l'aiguille est violemment jetée à l'O., hésite et oscille un moment, puis revient à l'E. A ce moment-là, il n'y avait aucune relation télégraphique ouverte au bureau de Lausanne. — Le même soir, à 10 h. 1 m., le même fait se reproduit et l'aiguille éprouva de grandes oscillations.

Des mouvements brusques semblables se sont montrés aussi à plusieurs reprises le 18 mai, entr'autres à 9 h. 54 m., où l'aiguille était calme sur 13° E. puis éprouva tout à coup une impulsion vers l'O. et oscilla quelques instants sur un arc de plus de 20° d'amplitude. — Il est fort possible que ce soir-là, ainsi que le 16 mai, je recueillais des dérivations au moment où le dernier train venant de Berne était signalé à son passage aux diverses stations qui précèdent Lausanne.

Le 7 juin, à 10 h. 21 m. du soir, l'aiguille qui était presque immobile éprouva subitement quelques oscillations rapides de plusieurs degrés d'amplitude, puis se calme de nouveau. Un peu plus tard, à 10 h. 24 m., le même fait se reproduisit; la déviation commença dans le même sens et les oscillations durèrent sensiblement le même temps. Cette perturbation est un peu surprenante, parce que, peu d'instants auparavant, j'avais constaté le parfait isolement de la ligne directe relativement aux autres lignes voisines de l'administration fédérale. Il est probable que la perturbation observée provenait de la ligne du chemin de fer.

Outre les dérivations notables et très manifestes, comme celles qui viennent d'être citées, il y avait peut-être plus fréquemment des dérivations très minimes. Il arrivait en effet souvent que l'aiguille galvanométrique présentait des oscillations très petites, assez rapides et fort semblables — sauf l'amplitude — à celle de la courbe xyz. Cela se manifestait pendant que la déviation augmentait ou di-

minuait d'une manière d'ailleurs calme et régulière. Au premier aspect, l'aiguille semblait n'avoir que son lent mouvement de progression, mais une observation plus attentive montrait un continuel tremblement, un mouvement oscillatoire ayant moins de $^1/_2$ à $^1/_4$ de degré d'amplitude. L'aiguille paraissait hésitante, saccadée dans sa marche. Il me paraît probable que ces petits mouvements étaient le résultat de dérivations télégraphiqnes d'une faible intensité.

On peut donc se représenter que suivant l'état plus ou moins isolé de la ligne, suivant que les poteaux, les supports, les cloches sont plus ou moins humides, il peut se produire des dérivations variant d'importance entre des limites assez étendues. Il est rare, cependant, on vient de le voir, que cette influence perturbatrice trouble d'une façon grave les indications en quelque sorte naturelles du galvanomètre.

19. Mais quelque rare ou quelque faible que soit cette influence perturbatrice, elle n'en est pas moins, malheureusement, un obstacle presque absolu à l'usage des lignes ordinaires de la télégraphie pour des observations prolongées et exactes sur les courants terrestres. L'incertitude inévitable où l'on est, quant à l'importance et à la grandeur des dérivations télégraphiques, compromet plus ou moins toutes les observations et quoique ces dérivations interviennent rarement, le seul fait qu'on ne peut pas éliminer à coup sûr leur influence doit faire rejeter la méthode où l'on est exposé à une semblable cause d'erreur. Il est bien probable que l'inconvénient dont il est ici question se rencontrerait partout dans le réseau télégraphique suisse, puisque partout les fils et les poteaux sont installés sensiblement de la même manière. *Il me paraît donc évident que si l'on veut entreprendre, chez nous, des recherches sur les courants électriques terrestres présentant des garanties sérieuses d'exactitude, il faut employer des lignes spéciales et absolument indépendantes du réseau télégraphique. Dans le cas où l'on voudrait faire usage d'un des fils destinés aux relations télégraphiques, il faudrait choisir une ligne qui se trouvât seule sur des poteaux et se borner alors à des observations intermittentes, dans les moments où la circulation télégraphique est suspendue.*

V. Les courants observés sont-ils dus à une influence thermo-électrique?

20. On vient de voir quelle valeur peut être attribuée aux observations du § 15. — Il résulte des considérations développées dans les chap. précédents que l'usage d'une ligne de télégraphie ordinaire ne peut pas être recommandé pour des études exactes ; mais si les observations faites par ce moyen donnent prise à quelque incertitude et courent le risque d'être entachées de quelques erreurs, il n'en est pas moins certain que ces observations conservent un véritable intérêt. Dans leur grande majorité, celles du chap. III expriment bien *l'état électrique naturel* du circuit Berne-Lausanne dans lequel le galvanomètre était installé.

21. Quelle est la cause des courants qui circulaient ainsi constamment dans la ligne Berne-Lausanne? — Cette question est sans doute fort difficile, et quelle que soit la réponse qui puisse y être faite, il y a un véritable intérêt à rechercher si l'influence de la chaleur est pour une certaine part dans la production de ces courants.

L'hypothèse que ce sont là des phénomènes thermo-électriques paraît au premier abord très séduisante. Ce serait une solution assez simple de la difficulté et il vaut la peine d'examiner si cette solution est admissible.

Le circuit total ne présentait pas une grande variété de conducteurs et seulement un petit nombre d'alternances. La plaque de terre de Lausanne était soudée à un fil de fer qui se reliait, à une petite distance du sol, à un fil de cuivre. Ce dernier aboutissait au galvanomètre dont le circuit se reliait au fer de la ligne. Entre Lausanne et Berne, la ligne est tout entière formée par du fer. On sait que les divers bouts qui composent une ligne télégraphique sont fixés les uns aux autres par des pièces (serre-fils) en laiton. A Berne, l'extrémité de la ligne était reliée à la plaque de terre par l'intermédiaire d'un court conducteur en cuivre.

On voit donc que, sur toute sa longueur, la ligne présentait peu de passages d'un corps à un autre: deux fois du cuivre au fer et deux fois du fer au cuivre. Au point de vue thermo-électrique, il n'y a pas à s'occuper des serre-fils qui relient les deux extrémités très voisines des bouts successifs de la ligne, parce que les variations de la température ne peuvent évidemment y engendrer un courant électrique.

On peut remarquer d'ailleurs que le serre-fil en laiton ne sert pas comme conducteur intermédiaire entre les deux bouts qu'il relie ; ces deux bouts viennent se mettre en contact l'un avec l'autre dans l'intérieur du serre-fil, grâce à la pression d'une forte vis en acier, à extrémité cônique ; cette vis vient entamer les deux extrémités du fer qui communiquent ainsi directement. Le courant ne passe donc point du fer au laiton puis du laiton au fer, comme on pourrait le croire au premier abord.

Les variations de la température pouvaient donc engendrer des courants électriques aux quatre jonctions indiquées plus haut et, ainsi qu'on le sait, dans les points de la ligne où le fer présente des défauts d'homogénéité. — Le sens du courant dépend, d'ailleurs, de la position relative des deux corps (cuivre et fer) ou des deux portions non homogènes dont le contact subit une variation de température. Il est extrêmement probable que, sur une ligne très longue, exposée à l'air et située dans des points fort dissemblables, la température devait présenter des différences d'une région à l'autre et des courants thermo-électriques pouvaient ainsi se produire. Mais ces différences de température donnaient naissance, ici à un courant marchant dans un certain sens et là à un courant marchant en sens inverse. Ce qui pouvait être observé n'était donc qu'une différence entre les sommes des deux courants développés dans des sens opposés, et la question est ramenée à savoir si c'est cette différence qui actionnait l'aiguille du galvanomètre dans les observations qui précèdent.

On sait que les courants thermo-électriques ont une faible tension et qu'ils ne sont capables de franchir des résistances que si l'on associe un grand nombre d'éléments en les disposant tous dans le même sens. La ligne qui servait aux expériences possède une résistance considérable à cause de sa longueur. Les éléments entre lesquels des courants dus à la chaleur pouvaient se développer ne présentent pas une très grande activité thermo-électrique et les différences de température ne pouvaient jamais devenir considérables. — Si l'on réunit ces trois considérations, il apparaîtra comme fort probable que les courants observés ne pouvaient pas être des courants thermo-électriques. On peut cependant conserver des doutes et, afin d'éclaircir cette question assurément importante, j'ai fait, dans les premiers jours de novembre 1865, un certain nombre d'essais à la suite desquels toute incertitude me semble devoir disparaître.

22. Voici en quoi ces essais ont consisté :

On introduisait dans le circuit une pile thermo-électrique formée de 20 éléments. Chaque élément se compose de deux lames de bismuth et antimoine de 35^{mm} de longueur, de 23^{mm} de largeur et 2^{mm} d'épaisseur. Les soudures réunissent les lames par leur lar-

geur. On produisait le réchauffement d'un des rangs de soudure en les immergeant brusquement dans de l'eau chauffée et on observait l'aiguille du galvanomètre.

Comme il était important de ne pas attribuer au courant thermo-électrique des mouvements de l'aiguille dus aux causes ordinaires, on devait saisir le moment où l'aiguille était sensiblement calme pour chauffer les soudures.

Les observations ont eu lieu les 3, 7 et 10 novembre, entre 9 et 10 heures du soir.

3 novembre.

La déviation de l'aiguille a été à l'E. Elle n'était que de quelques degrés à 9 h. 10 m., mais elle est devenue très forte plus tard. La pile thermo-électrique a été introduite dans le circuit; mais lors de la première immersion dans l'eau chaude, il est survenu une rupture d'une des plaques de bismuth et les essais n'ont pu avoir lieu.

7 novembre.

La pile avait été réparée et était placée dans le circuit.—A 9 h., la déviation galvanométrique était de plus de 20° à l'O., l'aiguille revint lentement vers 0°, en présentant plusieurs temps d'arrêt, puis elle passa à l'E. La déviation s'accrut lentement avec des moments de calme parfait et deux essais avec la pile thermo-électrique purent avoir lieu. Les soudures inférieures furent plongées dans de l'eau à 40°; les supérieures étant à la température ambiante de 13°. Aucun mouvement ne put être aperçu dans l'aiguille comme conséquence du réchauffement des soudures; mais l'aiguille n'était pas assez calme pour qu'on puisse se prononcer après ces deux essais.

10 novembre.

9 h. 13 m. du soir. Déviation E. de 6°; l'aiguille oscille lentement entre 5 et 7°.

15 m. Aiguille très calme sur 6°, puis retour vers 5 et 4°.

17 m. Très calme sur 3°.

18 m. Très calme sur 3°.

La pile thermo-électrique était intercallée dans le circuit, ses deux catégories de soudure possédant sensiblement la température ambiante de 12°. A 18 m., les *soudures inférieures* furent plongées dans de l'eau à 62°. L'aiguille se porta manifestement vers l'E., passant de 3° à 4 ½ ou 5°; le mouvement coïncida exactement avec celui de l'immersion. Après ce déplacement, l'aiguille revint lentement vers 3 puis 2°.

A 9 h. 22 m., l'aiguille est à 3°; la pile avait été retirée de

l'eau, mais les lames bismuth et antimoine étaient encore un peu chaudes. Les *soudures supérieures* furent plongées dans l'eau à 55° et l'aiguille subit un mouvement brusque, quoique faible, de $^1/_2$ à 1° vers l'O. ; c'est-à-dire que la déviation devint 2 à 2 $^1/_2$°.

Après ces deux immersions, les deux rangs de soudures étaient un peu chauffés.— A 25 m., on plongea dans l'eau froide (10°) les *supérieures*. L'aiguille se porta immédiatement d'environ 1° vers l'E.

9 h. 27 m. L'aiguille est calme sur 2°.

29 m. Légers mouvements entre 2 et 1°.

30 à 33 m. La déviation varie lentement entre 1 et 10° avec un temps d'arrêt sur 5°.

35 m. Lent et régulier accroissement à 15 puis 25°. Il y a un court temps d'arrêt, puis l'aiguille revient lentement à 8 et 7° pour s'éloigner de nouveau vers 15 et 18°. Pendant cet intervalle, la pile avait été refroidie. — A 38 m., on plongea les *soudures supérieures* dans de l'eau à 75° ; les inférieures étant à 15° à peu près. L'aiguille, qui était assez calme sur 20°, se porta brusquement vers 17 $^1/_2$ à 18 ; il y eut donc une déviation de 2 à 2 $^1/_2$° vers l'O.

Immédiatement après, les *soudures inférieures* furent plongées dans l'eau chaude. Résultat incertain ; l'aiguille ne présenta pas un mouvement assez prononcé pour qu'on pût l'attribuer à l'immersion des soudures.

9 h. 42 m. Aiguille calme sur 19 à 20°.

Les lames métalliques bismuth et antimoine étant réchauffées dans toute leur masse, à 50° à peu près, les *soudures supérieures* furent brusquement immergées dans de l'eau à 14°. L'aiguille eut un mouvement immédiat d'environ 1° vers l'E. ; elle se porta de 20 à 21°.

9. h. 45 m. La pile ayant été refroidie, on plongea de nouveau les soudures *inférieures* dans l'eau à 57°.

L'aiguille, qui était sensiblement calme à 19°, se porta sur 20 à 20 $^1/_4$°.

La pile fut alors rapidement retournée et les soudures *supérieures* plongèrent dans l'eau chaude. L'aiguille était déjà un peu revenue, après son dernier écart vers l'E., et elle se trouvait vers 17°; mais au moment même de cette dernière immersion, elle se déplaça brusquement vers 15 $^1/_2$ à 16°, déviant ainsi de 1 à 1 $^1/_2$ vers l'O.

9 h. 48 m. L'aiguille s'est rapprochée très lentement et très calmement de 15 à 10°.

23. Immédiatement après les essais qui viennent d'être décrits, et aussi après ceux du 7 novembre, on s'est assuré que la

pile thermo-électrique était en bon état en la faisant fonctionner avec court circuit. A cet effet, un circuit était constitué avec la pile et la boussole télégraphique ordinaire de 32 tours. L'appareil ayant été ramené sensiblement à la température ambiante (13°), les soudures inférieures furent plongées dans de l'eau à 40°. La boussole présenta une déviation immédiate de 34 à 36°. Après refroidissement, les soudures supérieures furent chauffées à 40° et on obtint sensiblement la même déviation de l'autre côté du zéro. — On voit ainsi que, pour une différence de température qui n'atteignait pas 30° entre les deux catégories de soudures, on obtenait, dans un court circuit, un courant assez intense et la pile thermo-électrique était sûrement en bon état.

24. Si l'on suit avec attention l'effet produit par les immersions des soudures soit supérieures soit inférieures dans l'eau chaude ou dans l'eau froide, on verra que les résultats sont très convenablement concordants. Les mouvements observés dans l'aiguille étaient faibles, de 1 à 2 ou 2 $^1/_2$ pour des différences de température qui ont varié de 35 à 60° ; mais ces mouvements ont été parfaitement précis, coïncidant rigoureusement avec l'immersion des soudures, toujours du côté de l'E. ou de l'O., suivant que les soudures supérieures étaient plus froides ou plus chaudes que les inférieures.

On ne peut donc pas douter que le courant thermo-électrique ne parcourût le long circuit de Lausanne à Berne ; mais, à cause de la grande résistance, son intensité était considérablement réduite.

Les comparaisons du § 5 entre la boussole télégraphique et le galvanomètre permettent de voir, au moins approximativement, dans quelle proportion cette intensité était réduite. La différence de température qui provoquait une déviation d'à peu près 1° au galvanomètre lorsque le courant traversait le long circuit, en donnait une de 36° à la boussole télégraphique avec court circuit. En remarquant que 36° de la boussole (§ 5) équivalent à 1036 fois 1° du galvanomètre, on peut dire que par son passage dans ce long circuit Lausanne-Berne, le courant thermo-électrique était rendu plus de 1000 fois plus faible.

Dans les observations du chapitre III, il y a de nombreux exemples où l'aiguille du galvanomètre a varié de plusieurs degrés en quelques secondes. Pour produire un mouvement de 10°, par exemple, il faudrait que la force électro-motrice développée dans le circuit, par une variation de température, fût plus de dix fois supérieure à celle que 30 à 35° de différence, entre les deux rangs de soudure, étaient capables de produire dans la pile de 20 éléments bismuth-antimoine. — Si l'on se souvient de la composition peu hétérogène du circuit (§ 21), si l'on remarque en outre que

dans les points où il y avait transition d'un métal à l'autre les températures ne pouvaient nullement subir des variations rapides et considérables, on admettra sans doute comme démontré, après tous les détails qui précèdent, que les *courants observés sur la ligne Lausanne-Berne ne peuvent en aucune façon être attribués à des actions termo-électriques.*

VI. Influence des courants de polarisation.

25. Quelle que soit la cause qui produit les courants observés dans la ligne, on peut se demander si quelques-uns de ces courants ne sont pas le résultat d'une polarisation des plaques de terre. Il arrive très souvent, on l'a vu, que l'aiguille du galvanomètre subit une déviation inverse de celle qui se produisait quelques moments auparavant. Cette déviation inverse peut provenir d'une diminution d'intensité du courant primitif ou de l'apparition d'un courant réellement inverse, mais dû d'ailleurs aux mêmes causes que le premier. Il se pourrait aussi qu'un premier courant ayant régné un certain temps cessât d'exister et que le mouvement contraire de l'aiguille fût simplement dû à un effet de polarisation secondaire.

Il y a là une question évidemment importante et j'ai entrepris un grand nombre d'essais pour tâcher de l'élucider.

Le simple examen des mouvements de l'aiguille ne suffit évidemment pas pour résoudre le problème. On voit, en effet, constamment que des déviations de l'aiguille dans un sens sont suivies de déviations tantôt soudaines, tantôt lentes en sens contraire et il est impossible de démêler, dans cette excessive variété et dans cette grande complication, ce qui peut être dû à un effet de polarisation ou ce qui a simplement pour cause une variation d'intensité ou un changement de sens dans le courant primitif lui-même. Des expériences directes seules peuvent donc apporter quelque lumière sur ce point.

Mais il faut remarquer que les expériences mêmes ne peuvent jamais être à l'abri de toute espèce de doute, puisque l'on opère sur un circuit dans lequel des courants peuvent prendre naissance et qui possède, en quelque sorte, un pouvoir électro-moteur propre. Si on intercale une pile dans le circuit, qu'on y lance pendant quelque temps un courant direct d'une certaine intensité, puis qu'après avoir éloigné la pile on interpose un galvanomètre, les indications du galvanomètre peuvent être dues à deux influen-

ces. Il peut y avoir un courant polarisé inverse auquel s'ajoute, en plus ou en moins, le courant variable qui se produit dans le circuit indépendamment de toute influence étrangère. Le courant polarisé sera mis en évidence si son intensité est notablement supérieure à celle du courant naturel ; mais si son intensité est du même ordre ou plus faible, la conclusion pourra demeurer incertaine.

Il faudrait pouvoir faire des essais à un moment où le courant naturel est nul ou très peu variable et ces moments sont rares, si même ils existent.

En présence de ces difficultés, ce qu'il y a de mieux à faire c'est de multiplier beaucoup les expériences et de voir dans quel sens l'aiguille tend à se mouvoir immédiatement après que la pile a été retirée du circuit.

26. Des essais ont été faits plusieurs jours différents. Dans l'origine, on s'est servi d'une pile au sulfate de mercure qui était d'un usage très commode et qui donnait un courant de 70 à 75° au galvanomètre. Cette pile était intercalée de 5 à 10 minutes dans le circuit, puis elle en était rapidement exclue et on suivait les indications du galvanomètre. Les expériences entreprises ainsi les 4, 8, 9, 10 et 29 mai n'ont rien donné de précis et il est inutile de les rapporter en détail. — Comme cette incertitude dans le résultat pouvait tenir à ce que le courant polariseur était trop faible, la pile au sulfate de mercure a été remplacée par une pile de six éléments zinc et charbon plongeant dans l'eau acidulée, comme celle dont on se sert dans la télégraphie. Vingt-un essais furent faits dans différents jours, avec cette pile-là. J'en indiquerai seulement quelques-uns comme exemples.

17 mai.

a) La pile demeure 5 minutes dans le circuit et donne un courant Lausanne-Berne, *dans le fil, (sens inverse)* de 30° à la boussole télégraphique. — La pile étant enlevée et le galvanomètre introduit dans le circuit, l'aiguille dévie de 17 à 18° E. (courant Berne-Lausanne, *sens direct),* puis il y a quelques mouvements de 17 à 15°, et un lent retour vers 10° pendant les secondes qui suivent.

Ensuite de cette expérience donc, on pourrait croire à un courant de polarisation d'après la déviation du galvanomètre et surtout parce que cette déviation, qui était 17 à 18° E., a diminué bientôt après.

b) Deuxième essai où la pile demeure encore 5 minutes dans le circuit. Courant Berne-Lausanne *(direct)* de même intensité que le précédent. — La pile étant enlevée, le galvanomètre indique 7

à 8° E. *(direct)*, puis bientôt après 5° puis 4°, puis aboutit à 0°.

Ici donc, soit la déviation du galvanomètre, soit les mouvements de l'aiguille ne peuvent s'attribuer à un courant polarisé, puisque ce polarisé aurait dû être inverse et que l'aiguille, après avoir présenté au premier moment une plus forte déviation vers l'O., aurait dû se rapprocher de l'E.

22 mai.

a) Courant de la pile, pendant 3 minutes, de 36° à la boussole télégraphique *(sens direct)*. Le galvanomètre introduit donne 20° E. (*sens direct*) puis l'aiguille se rapproche lentement de 16° puis 15, puis de nouveau 18, 20°, etc.

24 mai.

a) Courant de la pile pendant 3 minutes de 33° à la boussole télégraphique, *(sens direct)*.— Le galvanomètre intercalé dans le circuit donne 14° E. *(sens direct)*, puis faible accroissement vers 16°, un temps d'arrêt, puis 15°, etc.

b) Courant de la pile, pendant 5 minutes, de 32° à la boussole télégraphique *(sens inverse)*. — Le galvanomètre donne ensuite 17° E., puis 16°. Lent mouvement vers 15 et 14°, puis retour à 16, 17, 19°, etc.

29 mai.

a) Courant de la pile de 30° à la boussole télégraphique, pendant 5 minutes *(sens inverse)*. — Le galvanomètre introduit dans le circuit donne 4 à 5° E. *(direct)* puis 3°, puis 2° et retour à 4 et 6° E. en moins d'une demi-minute.

b) Même courant que le précédent, mais *direct*, pendant 5 minutes. — Après : 14° E. *(direct)*, puis, en quelques secondes, mouvement vers 10° et temps d'arrêt assez prolongé sur 9°.

c) Même courant, pendant le même temps *(sens inverse)*. Après : 10° E. *(direct)*, puis 9°, puis arrêt sur 10° et lent mouvement vers 11 et 12°.

d) Même courant, pendant 3 minutes, *(sens inverse)*. Après : 19° E. *(direct)*, légers mouvements de l'aiguille entre 19 et 20° pendant plus d'une minute.

31 mai.

a) Courant de la pile de 33° à la boussole télégraphique (*sens direct)*, pendant 5 minutes. Après : 13° E. *(direct)*, puis mouvement assez rapide vers 15 et 16° et retour à 11°.

b) Même courant pendant 3 minutes *(sens inverse)*. Après : 23° E. puis lent mouvement à 22 et 20°.

27. Les essais qui précèdent ont tous été faits le matin, entre 4 et 5 h. Ce moment n'était peut-être pas très favorable parce que c'est à cette heure du jour (voir § 12) que les courants naturels du circuit offrent le plus de variabilité et qu'il est par conséquent le plus difficile de rapporter à leur vraie cause les mouvements de l'aiguille. Cependant, en parcourant avec attention les chiffres ci-dessus, on verra sans peine que les mouvements de l'aiguille, immédiatement après que le galvanomètre avait été introduit dans le circuit, ne paraissent en aucune façon dépendre *du sens* du courant de la pile. Si donc il y avait un courant de polarisation, il était trop faible pour se manifester au travers des courants naturels du circuit.

En prenant pour unité le courant qui dévie de 0 à 1° l'aiguille du galvanomètre, on trouve que la pile, accusant 30° à la boussole télégraphique, lançait dans le circuit un courant dont l'intensité était environ 742 (§ 5). Si le courant polarisé, succédant à celui-là, avait eu une intensité de seulement $\frac{1}{100}$, cela aurait produit 7°,4 au galvanomètre et cette valeur tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant la direction du polariseur, n'aurait, je crois, pas pu être dissimulée par la variabilité des courants naturels du circuit.

28. Mais comme cette question est d'un véritable intérêt, quelques nouvelles expériences, avec des précautions plus minutieuses, ont été entreprises les 11 et 12 juillet, dans la soirée.

11 juillet.

9. h. 55 m. du soir. — Le galvanomètre introduit dans le circuit donne 11° avec de très faibles mouvements.
58 m. Aiguille calme sur 12°.
59 m. Aiguille calme sur 12 à 13°.
60 m. Aiguille calme sur 12°.

a) 10 h. — Le galvanomètre est écarté et on lance dans le circuit le courant de six éléments d'une pile faiblement chargée, pendant 12 minutes. La boussole télégraphique indique 14°. La direction est Lausanne-Berne *(inverse)*. Le courant est interrompu à 10 h. 12 m. et en même temps le galvanomètre réinstallé dans le circuit ([11]).

([11]) Une disposition qu'il est superflu de décrire ici permettait de réintroduire le galvanomètre dans le circuit au moment même où la pile en était écartée. Le temps qui s'écoulait entre ces deux opérations était sûrement inférieur à un quart de seconde.

12 m. 15 secondes. Aiguille sur 9° E.
30 s. Aiguille sur 8°.
40 s. Aiguille sur 6 $^1/_2$°.
55 s. Aiguille sur 6 à 7°.
13 m. 0 s. Aiguille sur 7°.
25 s. Lent mouvement vers 8 puis 9°.
14 m. 0 s. Progression continue à 10, puis 12 et 13°.
15 m. Calme sur 13°, puis lent retour à 8 et 5°.
17 m. Mouvements de à 5 à 8 et 9°.

b) La pile est replacée pendant dix minutes donnant un courant de 30° à la boussole, *sens direct*. Le courant est interrompu à 29 m.

29 m. 15 s. Aiguille du galvanomètre sur 8° E.
30 s. Aiguille du galvanomètre sur 8°.
40 s. Aiguille du galvanomètre sur 8°.
55 s. Aiguille du galvanomètre sur 8°.
30 m. 10 s. Aiguille du galvanomètre sur 8 à 9°.
32 m. L'aiguille s'est rappochée de 5 et 4° où elle demeure quelques moments calme.

L'essai *a)* aurait dû donner un polarisé direct (déviation E. de l'aiguille), en comparant l'état de l'aiguille à 10 h. et à 10 h. 12 m. 20 s. On voit que si ce courant s'est produit, il a été plus que compensé par un courant naturel de sens inverse puisque la déviation E. est moins forte après l'action de la pile que avant.

Quant à l'essai *b)*, on voit que l'aiguille s'est maintenue sensiblement fixe pendant environ une minute après la cessation du courant de la pile. Il ne paraît donc pas que le circuit ait été parcouru par un polarisé puisque l'intensité de ce dernier, on le sait, est rapidement décroissante.

12 juillet.

10 h. 4 m. du soir. Déviation E. de 13 à 14°
5 m. Déviation E. de 12 à 11°.
6 m. Très calme sur 11°.

a) On introduit une pile de 12 éléments, donnant 35° à la boussole télégraphique, pendant 12 minutes, *sens inverse*. — A 19 m., la pile est écartée et en même temps le galvanomètre réintroduit.

19 m. 15 s. — 18° E.
30 s. — 17°.
40 s. — 16°.
50 s. — 16°, puis mouvement vers 17, 18° et retour.
20 m. 10 s. — 15 à 16°.
21 m. — 17 à 18°.
25 m. — 15° puis lente progression à 18°.

b) Nouvel essai avec la même pile pendant 10 minutes. L'intensité est de 36° degrés à la boussole, le *sens direct.* — La pile est écartée à 35 m.

35 m. 15 s. — 17 ½°.
30 s. — 17°.
40 s. — 17 ½°.
45 s. — 18°.

36 m. Légers mouvement entre 17 et 18°.

37 m. Oscillations entre 18 et 19°, puis lent mouvement vers 14 et 13°.

c) Même courant pendant 5 minutes. Intensité de 36°, *sens inverse.* L'interruption a lieu à 44 minutes.

44 m. 15 s. — 17°.
25 s. — 16° avec faible oscillation de ½° au plus.
45 s. — 17°.

45 m. — 16 à 17°, puis lent mouvement vers 15°.

46 m. Presque calme absolu de 16 à 17°.

Les conditions étaient évidemment très favorables pour les expériences, pendant cette soirée, puisque l'aiguille demeurait relativement fort calme durant plusieurs secondes et même plusieurs minutes successives. En examinant de près les trois essais qui précèdent, on peut faire les remarques suivantes :

Après l'essai *a*, le courant polarisé aurait dû être *direct*, c'est-à-dire donner une déviation E. de l'aiguille. C'est effectivement ce qui paraît avoir eu lieu si l'on compare l'état de l'aiguille avant (10 h. 4 m. à 10 h. 6 m.) avec son état après (19 m. 15 s.). Mais si cette plus forte déviation E. était due à un courant polarisé, l'aiguille aurait dû *revenir* bientôt après vers 11 à 12°, ce qui n'a pas eu lieu. La déviation E. a bien un peu diminué pendant les premières secondes, mais seulement de 2°.

L'essai *b)* aurait dû donner un polarisé *inverse*, c'est-à-dire provoquer une déviation vers l'O. de l'aiguille. Or, on voit que, après avoir réintroduit le galvanomètre (à 35 m.), on a obtenu à peu près la même déviation qu'à 10 h. 25 minutes et pendant la minute qui a succédé à l'interruption du courant de la pile, l'aiguille n'a pas varié de plus de 1°.

L'essai *c)*, enfin, aurait dû produire un polarisé direct, c'est-à-dire provoquer un mouvement vers l'E. de l'aiguille. En réalité, l'aiguille est revenue, après la cessation du courant, sensiblement sur le point où elle était avant (16 à 17°) et elle s'est maintenue fixe, dans les limites de 1°, pendant les deux minutes suivantes.

29. Ces trois dernières expériences montrent que les courants de polarisation, s'ils se produisent, sont trop faibles ou trop rapidement affaiblis après la cessation du courant polariseur pour

pouvoir être aperçus. Il est peu probable, comme on le verra plus loin, que ces résultats négatifs soient dus à un trop prompt affaiblissement. Le galvanomètre, d'ailleurs, était intercalé assez rapidement pour que son aiguille, après le premier écart à partir de 0°, fût devenue sensiblement calme au bout de 15 secondes. — Grâce à l'état exceptionnellement constant du circuit pendant cette soirée du 12 juillet, on aurait pu apercevoir une influence due à la polarisation, même si elle eût été bien faible. Il me paraît, en effet, certain que si le courant polarisé avait été assez intense pour produire encore une déviation de 2°, quinze secondes après l'interruption, cette influence n'aurait pas passé inaperçue dans les essais qui précèdent. Or, pour produire une déviation de 2°, il eût suffi d'un courant inférieur (voir § 5) à $\frac{1}{500}$ de celui que la pile lançait dans le circuit. Si donc il se développe des courants polarisés dans le circuit, on peut affirmer qu'au bout de quinze secondes ces courants n'ont plus une intensité égale à $\frac{1}{500}$ de celui qui les a provoqués.

Les mouvements oscillatoires de l'aiguille du galvanomètre, dans les secondes qui suivaient sa réintroduction dans le circuit, ne permettaient guère de voir, avant un quart de minute, où cette aiguille allait s'arrêter. Il est possible cependant de montrer que, même dans les instants qui succédaient *immédiatement* à l'interruption du courant de la pile, il ne pouvait y avoir qu'une polarisation très minime, sinon tout à fait nulle.—Considérons, par exemple, l'essai *b)* du 11 juillet. Le courant de la pile ayant marché dans le sens Berne-Lausanne (dans le fil) devait provoquer un polarisé inverse, c'est-à-dire ayant la direction Lausanne-Berne. Un courant pareil dévie à l'O. l'aiguille galvanométrique. On a vu que, 15 secondes après la cessation du courant de la pile et pendant plus d'une minute, l'état naturel du circuit maintenait l'aiguille sur 8° E. et il est permis de penser que, au moment même où le galvanomètre a été réintroduit, cet état naturel était le même. Si, à ce moment-là, c'est-à-dire *un quart de seconde au plus* après l'interruption du polariseur, il y avait eu un courant de polarisation équivalant à 8° du galvanomètre, l'aiguille n'aurait pas quitté le zéro, et si ce courant avait été équivalent à 10 ou 12°, il y aurait eu une impulsion de l'aiguille à l'O. Or, cela n'a pas eu lieu; au contraire, lors de l'introduction du galvanomètre, l'aiguille a instantanément quitté le 0°, se portant vers 12 à 14° E., par son impulsion, pour atteindre, après quelques oscillations et quelques secondes, 8°. Pour produire 8° de déviation, il eût suffi d'un courant (voir § 5) dont l'intensité aurait été $\frac{1}{93}$ du polariseur (donnant 30° à la boussole). On peut donc affirmer, par ces considérations, qu'au bout d'un temps au plus égal à $^1/_4$ de seconde après l'interruption du courant de la pile, il n'y avait pas, dans le circuit, un courant de polarisation égal à $\frac{1}{93}$ du polariseur. — Le même rai-

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 $^1/_4$ 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 circoustances, il peut certainement y avoir des courants de polarisation, même avec de 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 siége d'une lente action chimique et il est assez probable que, dans un avenir prochain, ce fer mince sera entièrement oxidé. 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 recomposition de l'électricité positive de l'air avec la négative du sol, recomposition 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 dificile 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 $^1/_2{}^0$ 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 Ivrée 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

35. 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 varia- » tions 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 équato- » rial, 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 q'uils n'ont pas été sensibles entre les deux plaques de Berne et de Lausanne.

([19]) *Phil. Traus. 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.

A 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 terrrestres y on 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 16,800^{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 pertubation 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 intencités 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 recomposition, à travers l'atmosphère des régions polaires, de l'électricité positive de l'air avec la négative du sol, recomposition 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 recomposition 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 galvanomètrere représentent à peu près 1 $^1/_2$° 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 ([25]).

([25]) 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 a 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 pertubations 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, aprés 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 Torento, 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 ma- » nifestent 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 phisicien 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.

VII. Influences météorologiques et magnétiques.

40. La comparaison entre les courants constatés dans une ligne et les éléments météorologiques et magnétiques observés en même temps dans son voisinage est évidemment une partie essentielle de toute étude de cet intéressant sujet.

Cette comparaison ne peut être malheureusement que très incomplète et très insuffisante dans le présent travail, puisque mes observations étaient essentiellement intermittentes et qu'elles ne se prolongeaient que très peu de temps chaque jour. Je dois donc me borner à signaler quelques coïncidences ou quelques rapprochements.

41. Si l'on parcourt avec attention les détails des observations rapportées plus haut, on peut remarquer que le courant est généralement plus constant le soir que le matin. Il y a certains jours (4 mai, 25 mai, 30 mai, etc.) où, pendant la soirée, les mouvements de l'aiguille étaient rares, lents et d'une petite amplitude. Il n'y a jamais un calme semblable le matin.— Le matin, au contraire, surtout entre 4 et 5 $^1/_2$ heures, il y a ordinairement des mouvements brusques et considérables de l'aiguille et il est évident que le courant éprouve, à ce moment-là, de rapides et nombreuses variations d'intensité. Je ne saurais indiquer quelle est la cause probable de cette différence entre le matin et le soir. On peut seulement remarquer que, pendant l'époque des observations, le soleil apparaissait à l'horizon et commençait à réchauffer le sol précisément entre 4 et 6 heures. Le soir, au contraire, cet astre était toujours couché depuis un temps assez long lorsque le galvanomètre était introduit dans le circuit.

Indépendamment de cette différence habituelle entre le matin et le soir, on peut remarquer des différences souvent frappantes entre un jour et un autre, soit quant au sens de la déviation de l'aiguille, soit quant à la fréquence et à la rapidité des variations. Ainsi, par exemple, le 24 avril, par un temps très pur, vent E. ou N.-E. faible, l'aiguille a presque toujours été déviée à l'O. et souvent de plus de 20°. Il y avait donc, ce jour-là, prédominence du

courant terrestre dans le sens Lausanne-Berne. — Le 1er mai, à 6 h. du matin, ciel pur et vent du N.-E. faible, le courant était également toujours dirigé de Lausanne à Berne. — Le 4 mai, dans la soirée (9 ½ à 10 ½) l'aiguille était peu agitée et la déviation toujours E.; le temps était beau et il régnait un N.-O. faible. — Le 8 mai, au contraire, entre 6 et 7 heures du matin, l'aiguille était très fortement déviée tantôt à l'E. et tantôt à l'O. Les variations du courant étaient rapides et incessantes. Pendant les observations, le ciel était parcouru par des nuages noirs et d'aspect orageux venant du S.-O. — Le surlendemain, 10 mai, le matin également, la déviation était au contraire faible, toujours à l'E.; les variations du courant lentes et peu considérables. Il régnait un vent de N.-E. faible et le ciel était peu nuageux. — Le 12 mai, au milieu du jour, l'aiguille du galvanomètre était fort calme et déviait de 10 à 15° E.; le ciel était un peu nuageux, vent faible du N.-O. — Le 26 mai, au milieu du jour, les circonstances étaient tout autres, quoique l'aspect général du ciel et les conditions météorologiques ne puissent guère expliquer cette différence. Le temps était beau, sec, et le vent du N.-E. régnait. La déviation galvanométrique se maintint pendant plus de demi-heure remarquablement forte à l'E. avec des variations fréquentes et considérables. — Le 28 mai, les indications du galvanomètre furent très semblables à celles du 26.

On pourrait multiplier ces exemples qui montrent les différences considérables qu'il y avait souvent d'un jour à l'autre. J'ai essayé de comparer les résultats de chaque jour avec les éléments météorologiques que m'avaient obligeamment communiqués, à Berne, M. le professeur Wild, et à Lausanne, M. le professeur Marguet. Mais ces comparaisons entre les indications du galvanomètre et la température, la pression de l'air, l'humidité, etc., ne m'ont rien fourni de précis et, à part certains jours orageux dont il sera questions tout à l'heure, il n'est guère possible d'attribuer aux influences météorologiques une action bien caractérisée sur les courants observés.

Dans des jours qui semblent peu différer au point de vue météorologique, l'état électrique de la ligne présente des différences considérables soit quant au sens, soit quant à la variabilité des courants constatés. Sans doute, il faut pour une semblable étude des observations nombreuses, prolongées, poursuivies à toutes les heures du jour; mais, d'après le petit nombre de faits sur lesquels je puis m'appuyer, je suis porté à croire que les causes générales, c'est-à-dire les grands courants électriques terrestres, sont celles qui ont la plus grande part dans les faits observés et que les différences locales de tension électrique, dues surtout à l'influence de l'atmosphère, sont beaucoup moins importantes.

42. On sait depuis longtemps que les orages apportent parfois un obstacle très sérieux aux communications télégraphiques. Tous les télégraphistes savent que, quand un orage éclate sur le parcours d'une ligne, il y a des manifestations très-vives de tension électrique aux appareils et, de temps à autre, il arrive de véritables courants capables de rendre actifs les électro-aimants. — Il est donc naturel de penser que mon galvanomètre devait subir des effets analogues. Malheureusement, pendant toute la durée des observations rapportées plus haut, il n'est jamais arrivé qu'un orage important éclatât sur le parcours de la ligne Lausanne-Berne aux heures des observations, et les influences qui me paraissent pouvoir être qualifiées de *orageuses* sont, en somme, peu nombreuses.

Le matin du 8 mai, à 6 heures, des nuages noirs traversaient le ciel poussés par le vent du S.-O. Leur aspect était évidemment orageux et d'ailleurs un orage électrique s'était produit pendant la nuit. L'aiguille galvanométrique présentait des mouvements plus forts et plus étendus que d'habitude; pendant environ une demi-heure, la déviation fut tantôt à l'E., tantôt à l'O., avec de rapides variations. — Le 14 mai, à midi, je trouvai pendant plus de 20 minutes des courants extrêmement et rapidement variables. L'aiguille était tantôt à 37 et 40° E. et tantôt à plus de 30° vers l'O. et ses déplacements étaient rapides, quoique d'un tout autre aspect que ceux qui auraient été produits par des dérivations télégraphiques. Des nuages d'apparence orageuse traversaient le ciel et il tombait par intermittences quelques grosses gouttes de pluie. — Le 15 mai, entre 4 et 6 heures du matin, il y avait également une grande agitation électrique. Des nuages noirs couvraient le ciel et pendant la nuit il était tombé une abondante averse orageuse.

Le 23 mai, dans la soirée, un orage assez violent vint du S.-O. et se propagea le long des bords du lac dans la direction de Vevey. Le galvanomètre avait été introduit dans la ligne directe à 9 h. 45 m., et l'aiguille éprouvait des déviations E. variant de 10 à 20°. Tout à coup, à 9 h. 53 m., l'aiguille subit une violente impulsion qui la jeta à plus de 70 ou 80° O. et en même temps l'appareil télégraphique (le Morse) auquel aboutissait la ligne Vevey-Lausanne faisait entendre un bruit sec, unique, dû à l'attraction très vive de l'ancre par l'électro-aimant. Moins de deux minutes plus tard, le même fait se reproduisit et il y eut de nouveau coïncidence parfaite entre le coup du Morse de la ligne de Vevey et une brusque déviation de l'aiguille vers l'O. Quelques secondes avant 10 heures, une troisième secousse orageuse se produisit encore au même instant sur les deux mêmes appareils et ce fait se renouvela six fois jusqu'à 10 h. et demie. — A chacune de ces commo-

tions, l'aiguille galvanométrique n'éprouvait qu'un seul déplacement violent vers l'O., puis elle revenait à l'E. et présentait des variations lentes et calmes, dont l'amplitude ne dépassait pas 5°. La cause perturbatrice était évidemment instantanée. — Il est probable que des éclairs éclataient à une distance peu considérable de la ligne Lausanne-Vevey et qu'il se produisait, au moment de la décharge, un courant assez intense dans cette ligne dû à une sorte de *choc en retour*. Est-ce que le même éclair, agissant à une beaucoup plus grande distance, influençait la ligne Berne-Lausanne et y provoquait aussi un courant semblable quoique beaucoup plus faible ? Je ne saurais le dire ; mais cela me paraît peu probable, attendu que l'orage était plutôt sur le lac, dans le voisinage de Vevey, et en ces points-là il y a une distance assez considérable entre la ligne Lausanne-Berne et la ligne Vevey-Lausanne. En outre, si les nuages orageux avaient pu influencer le circuit où se trouvait intercalé le galvanomètre, les mouvements de l'aiguille n'auraient pas été aussi calmes qu'ils l'étaient et on aurait eu probablement ces variations si considérables et si caractéristiques des 8, 14 et 15 mai. Mais les deux lignes Vevey-Lausanne et Berne-Lausanne se joignent à environ 2,000^{m} du bureau télégraphique ; elles s'accompagnent sur les poteaux et, dès le toit du bâtiment, descendent très voisines l'une de l'autre jusqu'au parafoudre. Dans ces circonstances, il ne me paraît pas improbable que le courant intense provoqué dans la première de ces lignes produisait, dans l'autre, un courant induit de sens contraire qui se manifestait au galvanomètre. Ce courant aurait été trop faible pour activer un Morse ordinaire et c'est pour cela, je pense, que d'autres lignes, également voisines, n'accusaient pas un courant induit semblable. Il est à remarquer, d'après le sens de la déviation de l'aiguille, que le courant induit avait une direction Lausanne-Berne et par conséquent l'inducteur, sur la ligne de Vevey, devait être dirigé dans le sens Vevey-Lausanne.

43. On sait depuis longtemps que les aurores boréales exercent une action prononcée sur les aiguilles de déclinaison, et longtemps avant que l'on eût entrepris des observations sur les courants terrestres, cette action avait été signalée. Mais l'influence de l'aurore boréale se fait sentir aussi d'une façon remarquable dans l'état électrique des circuits dont les deux extrémités plongent dans le sol à de grandes distances. On a recueilli, sur cette influence-là, beaucoup de données déjà et M. de la Rive en a fait un des arguments les plus importants en faveur de sa belle théorie des aurores polaires.

Les observations sur la ligne Berne-Lausanne, prolongées à peu près tous les jours pendant les mois d'avril et de mai 1865, n'ont jamais fourni, on l'a vu, des courants d'un intensité excep-

tionnelle. Les jours où les déviations de l'aiguille étaient particulièrement fortes et les variations considérables, il était possible d'attribuer ce résultat à l'état orageux du ciel. J'ignore si, pendant cette période, il n'y a pas eu d'aurores boréales un peu importantes ; mais, dans l'ensemble des observations rapportées plus haut, il n'y a pas eu de jours où les courants présentassent des caractères tels que je pusse soupçonner l'influence de ce brillant météore ; c'est seulement au commencement de novembre que les indications du galvanomètre me paraissent à deux reprises assez exceptionnelles.

Le 3 novembre, le galvanomètre fut introduit dans le circuit à 9 heures du soir. Le ciel était couvert et il soufflait un vent du N.-O. avec pluie, mais il n'y avait nulle apparence d'orage électrique.

A 9 h. 10 m., l'aiguille était déviée de 4 à 5° vers l'E. puis la déviation augmenta lentement et à 9 h. 14 m. elle était de 20°. Après quelques secondes d'arrêt presque absolu, le mouvement continua et atteignit 31°. A partir de ce moment, on intercala à diverses reprises, dans le circuit, la pile thermo-électrique indiquée précédemment, afin de voir si le courant produit par la chaleur peut être sensible sur la ligne ; mais ces essais, à peu près tout à fait négatifs comme on l'a vu, n'empêchèrent pas de suivre l'état électrique du circuit tel que l'accusait le galvanomètre. A 9. 30 m., la déviation était de 25 à 30° et l'aiguille n'avait éprouvé que de faibles variations depuis 9. h. 14 m. Bientôt, la déviation augmenta et atteignit 40° ; il y eut quelques mouvements irréguliers, entre 40 et 35°, puis l'aiguille s'éloigna encore davantage du 0°, atteignit et dépassa 50° E. et à 9 h. 53 m. je notais 58° puis 60, puis 64° (cela correspond à une intensité de 138). Cétait de beaucoup la déviation la plus forte qui eût été observée et je soupçonnai une aurore boréale, invisible sur notre horizon, mais assez intense pour se manifester jusqu'à notre latitude par des courants électriques. J'ignore si ce beau phénomène a été observé ce soir-là dans le nord ; mais ce qui confirme l'existence de forts courants terrestres, c'est que le 3 novembre, au soir, on a observé à Livourne une forte agitation de l'aiguille aimantée ([26]). (La direction Lausanne-Livourne fait un angle de 26° avec le méridien magnétique de Lausanne.)

Le 7 novembre, le ciel était couvert ; il avait un peu plu durant le jour. — A 9 h. 10 m. du soir, la déviation de l'aiguille galvanométrique était de 20° O., puis elle diminua très lentement et pendant plus de trois minutes l'aiguille fut tout à fait calme sur 17°. Le mouvement de retour vers 0° se con-

([26]) *Bulletin météorologique de l'Observatoire de Paris*, 2 novembre 1865.

tinua cependant et à 9 h. 18 m. l'aiguille arrivait à 0°, après un des déplacements les plus lents et les plus calmes qui aient été observés. — A 9 h. 19 m., la déviation était 11° E., puis il se produisit quelques oscillations irrégulières et très lentes de 11° à 0°. La lenteur et la forme de ces mouvements exclut toute possibilité de dérivations télégraphiques, d'ailleurs très peu probables à cette heure où les derniers trains avaient cessé de circuler sur la ligne Lausanne-Berne et où le bureau fédéral de Lausanne était complétement inoccupé. A partir de 9 h. 22 m., l'aiguille s'éloigna toujours plus vers l'E. et atteignit bientôt 40°, présentant dans cette progression des temps d'arrêt de plus de une minute. A 9. h. 43 m., la déviation variait de 45 à 48°, puis elle augmenta peu à peu et à 9 h. 45 m. elle dépassa 50°. Ces mouvements ont été remarquables par leur lenteur et il est évident que entre 9 h. 10 m. et 9 h. 45 m., il y a une cause qui a augmenté peu à peu et très fortement, quoique avec des intermittences, le courant terrestre dans le sens Berne-Lausanne, puisque l'aiguille a passé de 20° O. à 55° E. La grandeur de cette déviation, semblable à celle du 3 novembre, dépasse aussi tout ce qui avait été observé en avril et mai. Quant à la cause de cette intensité exceptionnelle du courant terrestre, elle est très probablement la même que celle qui produisait, ce soir là, une aurore boréale visible dans le nord de l'Europe, notamment à Hermosand ([27]).

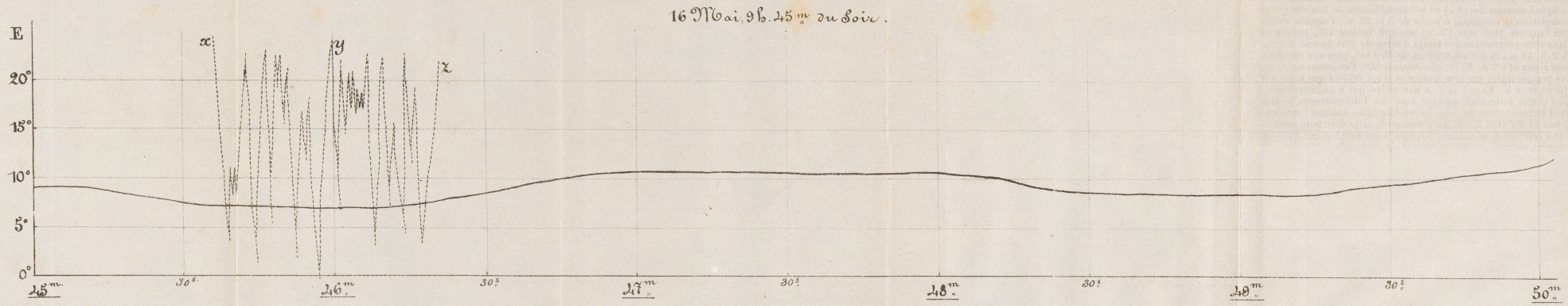
Si l'on compare les déviations des 3 et 7 novembre avec celles qui s'observaient en général sur la ligne et avec ce qu'on pourrait nommer l'état moyen du galvanomètre, il est évident que les orages magnétiques de ces deux jours-là se manifestaient surtout par des courants dirigés dans la direction Berne-Lausanne, c'est-à-dire du Nord au Sud.

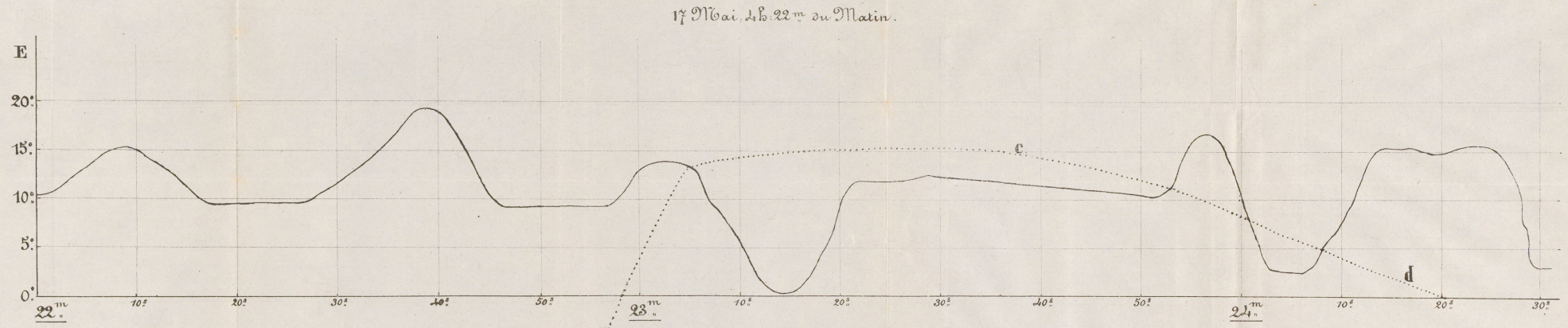
44. Les quelques détails qui précèdent montrent suffisamment que pour obtenir des résultats un peu certains quant aux rapports entre les courants terrestres et les circonstances météorologiques, il faut pouvoir comparer et discuter un très grand nombre d'observations. On ne peut guère mettre en doute qu'il n'y ait un rapport étroit entre une partie, au moins, des éléments météorologiques et ces courants terrestres. Les belles recherches du R. P. Secchi, relatives aux indications météorologiques du bifilaire, en sont une preuve ; car ce qui influe sur les appareils magnétiques se manifeste très probablement aussi dans les instruments qui accusent les courants terrestres. — Il est en outre fort probable que les courants terrestres, sensibles en un certain lieu, sont en rapport avec l'état de l'atmosphère à des distances peut-être très considérables de ce lieu-là. Il y aura donc, pour ce motif

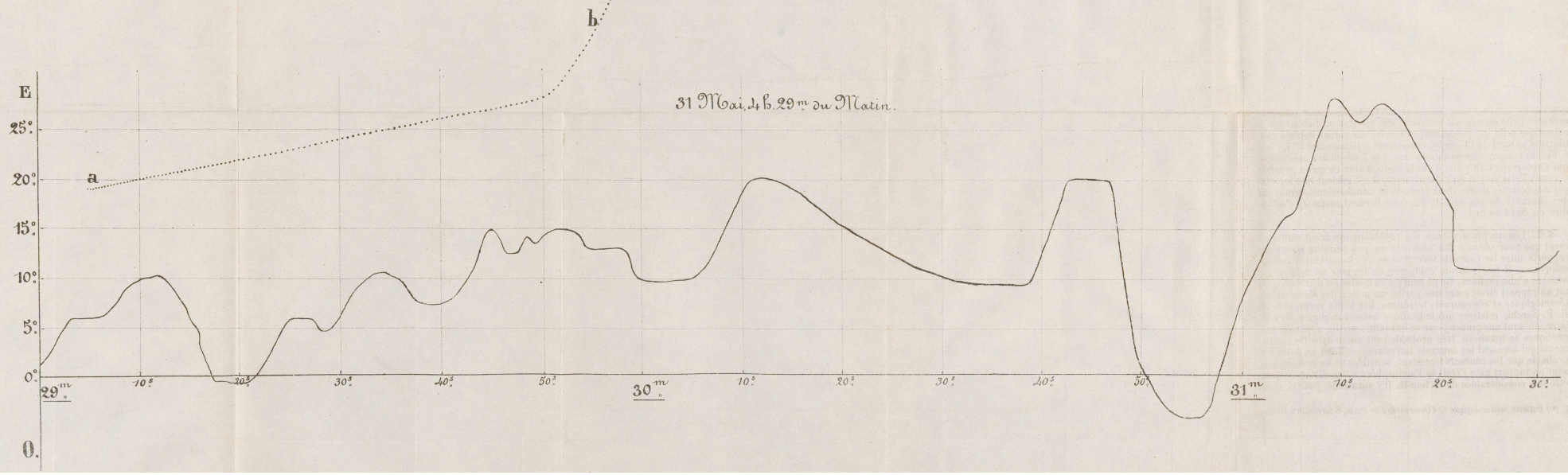
([27]) *Bulletin météorologique de l'Observatoire de Paris*, 8 novembre 1865.

Courbes des Courants galvaniques terrestres.

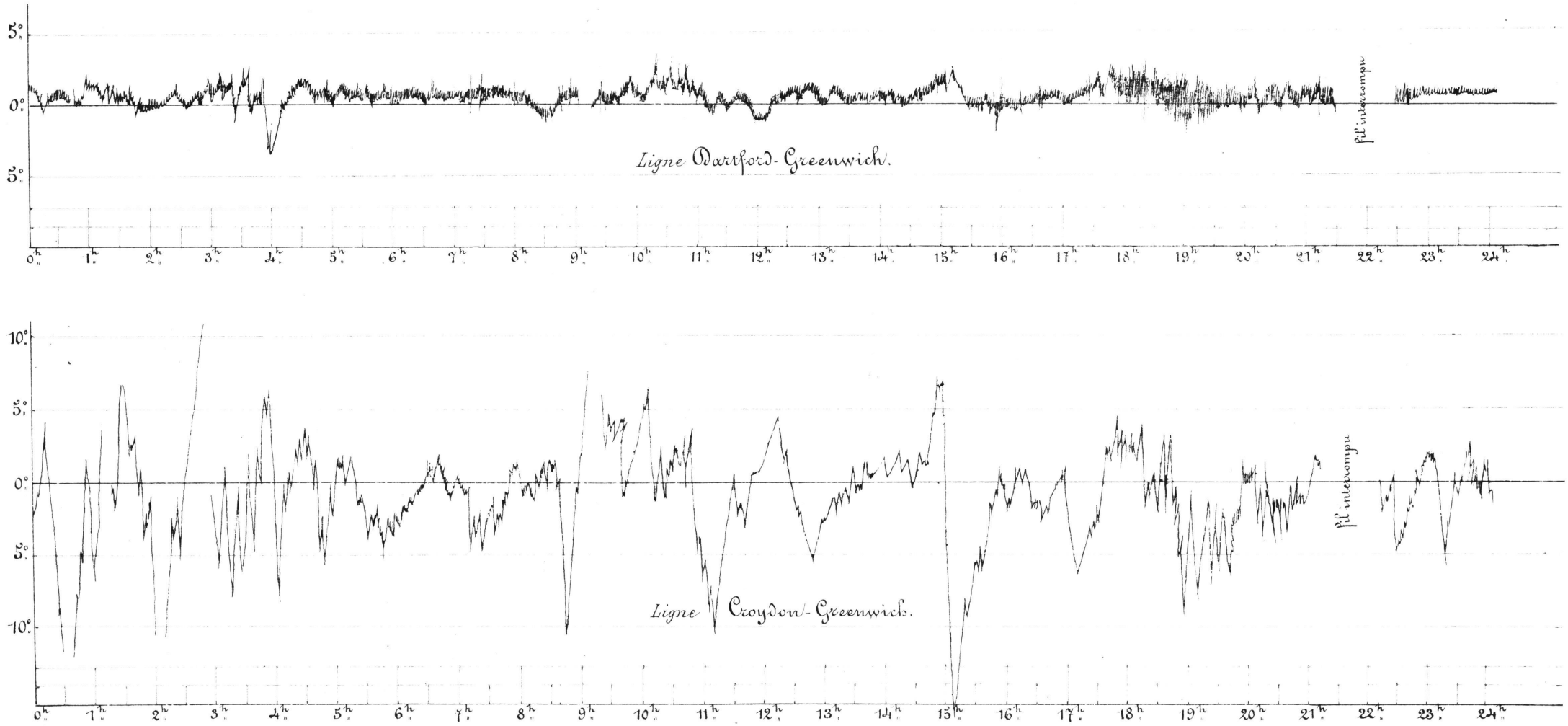
Pl. 1







Courbes des Courants galvaniques terrestres du 17 Avril 1865. — Enregistrement photographique à GREENWICH



aussi, un grand intérêt à établir des rapprochements entre les observations simultanées faites dans des points très éloignés et à soumettre les indications des appareils galvanométriques et magnétiques à un système de comparaisons analogue à celui qui se pratique journellement, depuis quelques années, pour le baromètre et pour les vents.

Je ne terminerai pas sans exprimer ma vive reconnaissance à l'Administration fédérale des télégraphes, qui a bien voulu mettre si souvent une de ses lignes à ma disposition, et à MM. les Chefs des bureaux télégraphiques de Berne et de Lausanne que j'ai sans doute plus d'une fois importuné par mes expériences. — M. Noguet, Chef du bureau de Lausanne, a vraiment facilité ma tâche par sa complaisance parfaite et je me fais un devoir de lui témoigner ici mes remercîments sincères.