OUVRAGE PUBLIÉ SOUS LES AUSPICES DU MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE
SOUS LA DIRECTION DE L. JOUBIN, Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle.

DEUXIÈME EXPÉDITION ANTARCTIQUE FRANÇAISE

(1908-1910)

COMMANDÉE PAR LE

Dr JEAN CHARCOT

SCIENCES PHYSIQUES : DOCUMENTS SCIENTIFIQUES

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

PAR J. ROUCH
Enseigne de vaisseau.

Q
115
.C7
2nd
1908-1910
fasc. 3

MASSON ET Cie, ÉDITEURS
120, Bd SAINT-GERMAIN, PARIS (VIe)

1913

Tous droits de traduction et de reproduction réservés

National Oceanic and Atmospheric Administration

International Polar Year (IPY) 2007-2008

ERRATA NOTICE

One or more conditions of the original document may affect the quality of the image, such as:

Discolored pages
Faded or light ink
Binding intrudes into the text

This has been a co-operative project between the NOAA Central Library and the Climate Database Modernization Program, National Climate Data Center (NCDC). To view the original document contact the NOAA Central Library in Silver Spring, MD at (301) 713-2607 x124 or Library.Reference@noaa.gov.

HOV Services
12200 Kiln Court
Beltsville, MD 20704-1387
February 25, 2008

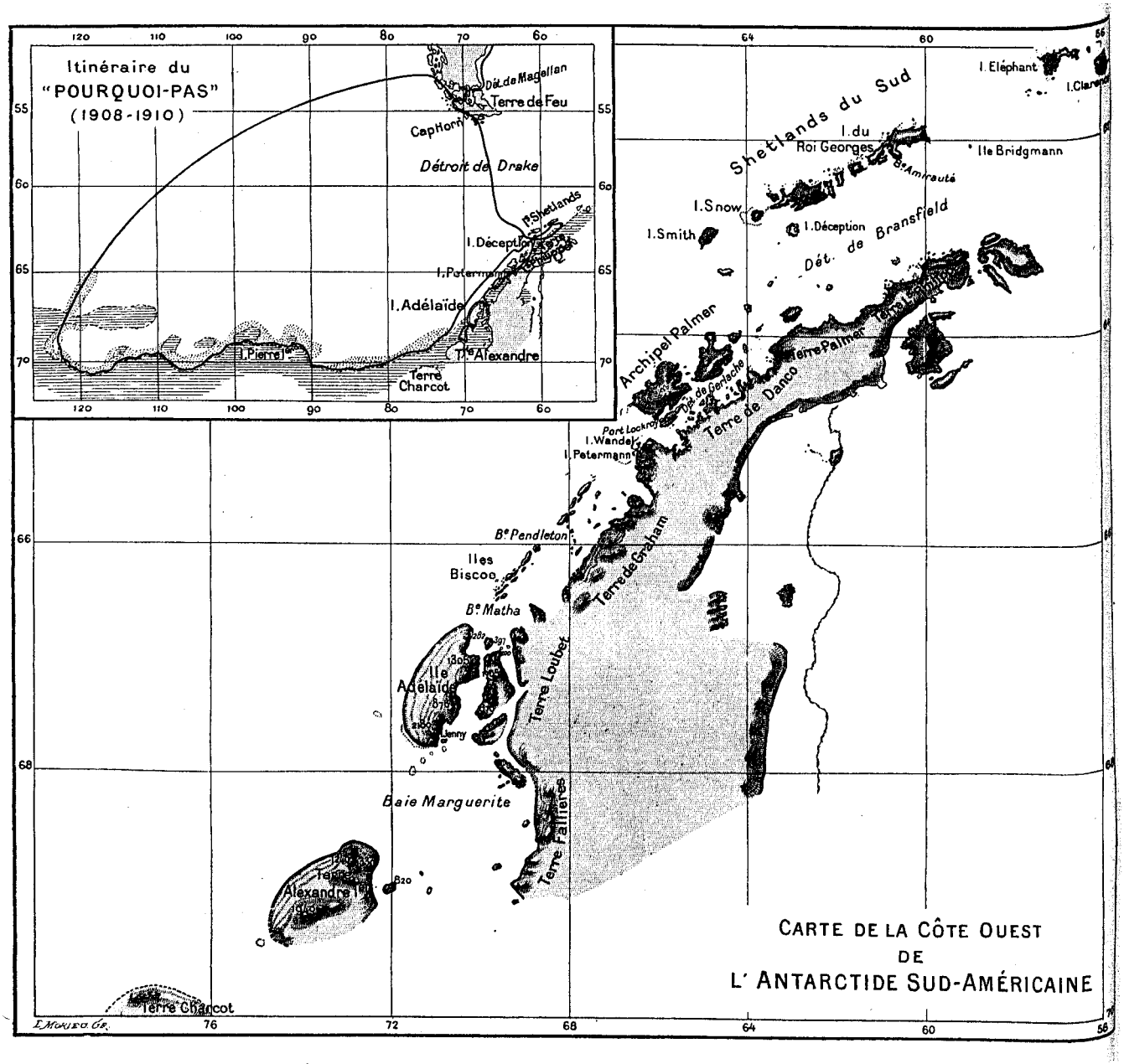
C. & G. SURVEY,
LIBRARY AND ARCHIVES
MAY - 8 1914
Acc. No.

DEUXIÈME EXPÉDITION ANTARCTIQUE FRANÇAISE

(1908-1910)

COMMANDÉE PAR LE

Dr JEAN CHARCOT



CARTE DES RÉGIONS PARCOURUES ET RELEVÉES PAR L'EXPÉDITION

MEMBRES DE L'ÉTAT-MAJOR DU " POURQUOI-PAS ? "

J.-B. CHARCOT

M. BONGRAIN. . . . . Hydrographie, Sismographie, Gravitation terrestre, Observations astronomiques.
L. GAIN. . . . . Zoologie *(Spongiaires, Échinodermes, Arthropodes, Oiseaux et leurs parasites)*, Plankton, Botanique.
R.-E. GODFROY . . . . . Marées, Topographie côtière, Chimie de l'air.
E. GOURDON . . . . . Géologie, Glaciologie.
J. LIOUVILLE . . . . . Médecine, Zoologie *(Pinnipèdes Cétacés, Poissons, Mollusques, Cœlenterés Vermidiens, Vers Protozoaires, Anatomie comparée, Parasitologie)*.
J. ROUCH. . . . . Météorologie, Océanographie physique, Électricité atmosphérique.
A. SENOUQUE. . . . . Magnétisme terrestre, Actinométrie, Photographie scientifique.

LISTE DES COLLABORATEURS

MM.	TROUESSART	*Mammifères.*
	ANTHONY et GAIN	*Documents embryogéniques.*
	LIOUVILLE	*Phoques, Cétacés* (Anatomie, Biologie).
	GAIN	*Oiseaux.*
*	ROULE	*Poissons.*
	SLUITER	*Tuniciers.*
	JOUBIN	*Céphalopodes, Brachiopodes, Némertiens.*
*	LAMY	*Gastropodes, Scaphopodes et Pélécypodes.*
*	J. THIELE	*Amphineures.*
	VAYSSIÈRE	*Nudibranches.*
*	KEILIN	*Diptères.*
*	IVANOF	*Collemboles.*
	TROUESSART et BERLESE	*Acariens.*
*	NEUMANN	*Mallophages, Ixodides.*
*	BOUVIER	*Pycnogonides.*
	COUTIÈRE	*Crustacés Schizopodes et Décapodes.*
*	Mlle RICHARDSON	*Isopodes.*
MM.	CALMAN	*Cumacés.*
*	DE DADAY	*Ostracodes, Phyllopodes, Infusoires.*
*	CHEVREUX	*Amphipodes.*
	CÉPÈDE	*Copépodes.*
*	QUIDOR	*Copépodes parasites.*
	CALVET	*Bryozoaires.*
*	GRAVIER	*Polychètes, Crustacés parasites et Ptérobranches.*
	HÉRUBEL	*Géphyriens.*
*	GERMAIN	*Chétognathes.*
*	DE BEAUCHAMP	*Rotifères.*
	RAILLIET et HENRY	*Helminthes parasites.*
*	HALLEZ	*Polyclades et Triclades maricoles.*
*	KŒHLER	*Stellérides, Ophiures et Échinides.*
	VANEY	*Holothuries.*
	PAX	*Actiniaires.*
	BILLARD	*Hydroïdes.*
	TOPSENT	*Spongiaires.*
*	PÉNARD	*Rhizopodes.*
	FAURÉ-FRÉMIET	*Foraminifères.*
	CARDOT	*Mousses.*
*	Mme LEMOINE	*Algues calcaires* (*Mélobésiées*).
*	MM. GAIN	*Algues.*
	MANGIN	*Phytoplancton.*
	PERAGALLO	*Diatomées.*
	HUE	*Lichens.*
	METCHNIKOFF	*Bactériologie.*
	GOURDON	*Géographie physique, Glaciologie, Pétrographie.*
	BONGRAIN	*Hydrographie, Cartes, Chronométrie.*
*	GODFROY	*Marées.*
*	MÜNTZ	*Eaux météoriques, sol et atmosphère.*
*	ROUCH	*Météorologie, Électricité atmosphérique, Océanographie physique.*
	SENOUQUE	*Magnétisme terrestre. Actinométrie.*
	J.-B. CHARCOT	*Journal de l'Expédition.*

Les travaux marqués d'une astérisque sont déjà publiés.

Commission chargée par l'Académie des Sciences

d'élaborer le programme scientifique de l'Expédition

MM. les Membres de l'Institut :

Bouquet de la Grye.	Giard.	de Lapparent.	Müntz.
Bornet.	Guyou.	Mangin.	Ed. Perrier.
Bouvier.	Lacroix.	Mascart.	Roux.
Gaudry.			

Commission nommée par le Ministère de l'Instruction Publique

pour examiner les résultats scientifiques de l'Expédition

MM. Ed. Perrier ..... Membre de l'Institut, Directeur du Muséum d'Histoire naturelle, Président.

Vice-Amiral Fournier, Membre du Bureau des Longitudes, Vice-Président.

Angot ..... Directeur du Bureau central météorologique.

Bayet ..... Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Enseignement supérieur.

Bigourdan ..... Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris.

Colonel Bourgeois.... Directeur du Service géographique de l'Armée.

Bouvier ..... Membre de l'Institut, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

Gravier ..... Assistant au Muséum d'Histoire naturelle.

Commandant Guyou.. Membre de l'Institut, Membre du Bureau des Longitudes.

Hanusse ..... Directeur du Service hydrographique au Ministère de la Marine.

Joubin ..... Professeur au Muséum d'Histoire naturelle et à l'Institut Océanographique.

Lacroix ..... Membre de l'Institut, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

Lallemand ..... Membre de l'Institut, Membre du Bureau des Longitudes, Inspecteur général des mines.

Lippmann ..... Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Müntz ..... Membre de l'Institut, Professeur à l'Institut agronomique.

Rabot ..... Membre de la Commission des Voyages et Missions scientifiques et littéraires.

Roux ..... Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur.

Vélain ..... Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

OBSERVATIONS D'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE FAITES DANS L'ANTARCTIQUE

PENDANT L'EXPÉDITION CHARCOT (1909)

Par J. ROUCH, Enseigne de vaisseau.

CHAPITRE PREMIER

Instruments et procédés employés.

Pendant le séjour de l'Expédition Charcot dans l'Antarctique, nous avons fait des mesures d'électricité atmosphérique qui se rapportent à trois éléments : le champ électrique, la conductibilité spécifique de l'air, la radioactivité des précipitations.

CHAMP ÉLECTRIQUE

Pendant l'hivernage de l'Expédition à l'île Petermann (Lund), par L = 65° 10′ sud et G = 66° 34′ W (Paris), j'ai obtenu une série d'enregistrements du champ électrique à peu près ininterrompue, du 12 février au 19 novembre 1909, soit pendant près de dix mois.

Situation des instruments. — Les instruments enregistreurs étaient installés dans une cabane obscure à toit plat, de 2 mètres sur 1 m,50 et s'élevant en été de 2 mètres au-dessus du sol. Cette cabane était construite sur un rocher au bord de la mer, dans une petite anse de Port-Circoncision. Il a été très rare que sur ce toit plat, continuellement balayé par le vent, la neige pût séjourner, et dans ces cas-là, qui ne se produisaient que par calme absolu, à chaque observation météorologique, c'est-à-dire toutes les deux heures, nous allions balayer le toit.

Prise de potentiel. — La prise de potentiel était faite par un collecteur

au radium du modèle courant, fourni par la maison Armet de Lisle. Ce disque s'emmanchait sur une petite tige qui terminait l'antenne. Il avait d'abord été mis verticalement, mais le verglas et le givre pouvaient alors s'y déposer avec une très grande facilité et l'étouffer, pour ainsi dire, rapidement. Une couche de $0^{mm},5$ de verglas suffisait à l'annuler complètement. Il y aurait sans doute intérêt à emporter, dans une expédition analogue, un collecteur plus actif. Pour éviter cet inconvénient, j'ai incliné assez fortement le disque de radium vers le bas.

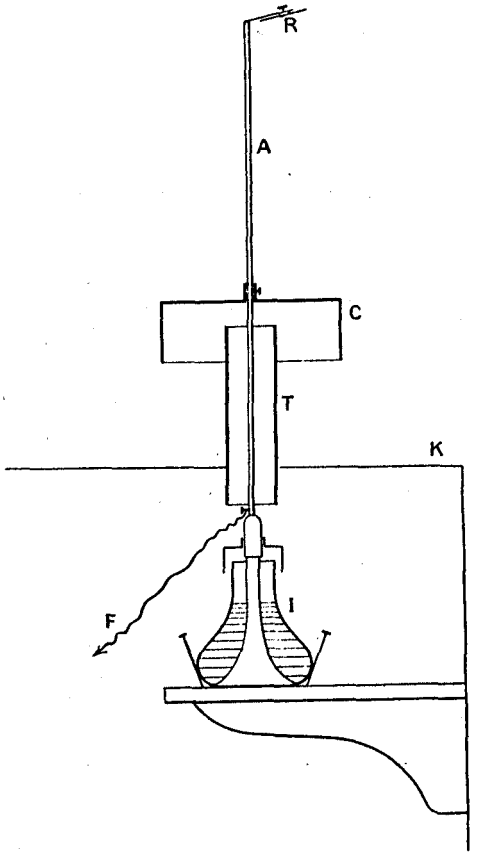


Figure 1.

A, antenne; I, isolateur Mascart; T, tube en porcelaine protégeant l'antenne à son entrée dans la cabane; C, chapiteau abritant le tube T; R, prise de potentiel au radium; K, toit de la cabane; F, fil de charge reliant l'antenne à l'électromètre.

Comme j'avais à ma disposition deux collecteurs absolument identiques, je les mettais en fonction à tour de rôle chaque mois. Je n'ai jamais remarqué de différence entre leurs sensibilités.

L'antenne, qui supportait la prise de potentiel, traversait verticalement le toit et s'élevait à une hauteur de 1 mètre au-dessus de la cabane. Cette antenne était constituée par une tige de cuivre de 1 centimètre de diamètre, s'emmanchant, à l'intérieur de la cabane, sur un isolateur Mascart à acide sulfurique. Elle passait à travers le toit par une ouverture de 10 centimètres de diamètre, protégée par un tube en porcelaine, abrité lui-même des précipitations par un large chapiteau porté par l'antenne. L'antenne était donc complètement isolée (fig. 1). Il ne faut pas songer d'ailleurs, dans ces pays de chasse-neige très violent et très fréquent, à exposer au dehors un isolateur quel qu'il soit; la neige, le givre et le verglas s'introduisent en effet absolument partout. L'antenne et le chapi-

teau avaient été faits à bord, car le matériel que j'avais apporté de France s'était montré complètement insuffisant. Il faut une antenne absolument rigide pour résister aux violentes tempêtes, puisqu'on ne peut pas la consolider par des haubans. Il faut aussi que le chapiteau, qui protège le tube d'entrée dans la cabane, déborde très largement, afin que la neige ou le givre n'arrivent pas à faire contact entre le tube et le chapiteau.

Un défaut d'isolement autrement grave, car il m'était difficile d'y remédier, provenait du givre qui se formait dans le tube en porcelaine, protecteur de l'antenne à son passage dans le toit. Dès que la température extérieure baissait avec rapidité, l'air relativement chaud de la cabane, en passant par cette cheminée de tirage, déposait son humidité sur l'antenne et sur le tube refroidis, en petits cristaux de givre qui avaient vite fait de faire pont entre eux. En enduisant de glycérine la tige de cuivre et le tube, je parvenais à diminuer le givre, mais pas à le supprimer complètement. Le moyen le plus efficace m'a paru consister à placer un bac d'acide sulfurique juste au-dessous de l'antenne, afin de dessécher un peu l'air avant son passage dans le tube.

Cet inconvénient n'aurait sans doute pas existé, si la cabane de l'électromètre enregistreur avait été suffisamment chauffée pour que la température de la partie inférieure de l'antenne ne descende pas au-dessous du zéro. Ce n'était pas le cas, puisque souvent, à l'intérieur de la cabane, le thermomètre descendait au-dessous de — 15°.

Je ne pouvais pas, comme on le fait d'ordinaire, faire traverser horizontalement à l'antenne une des parois verticales de la cabane, car il se formait pendant les coups de vent des volutes de neige qui auraient fait continuellement varier sa hauteur, puisqu'elles montaient parfois jusqu'au niveau du toit, sans parler de la variation annuelle du niveau du sol par suite des chutes de neige, qui a atteint près de 2 mètres autour de la cabane. Pour que ces variations du niveau ne puissent pas avoir d'influence sur la hauteur pratique de l'antenne au-dessus du sol, j'ai relié, par un treillis en fil de fer à mailles assez larges, les bords du toit à une série de points placés au même niveau que lui (rochers ou toits de cabanes voisines) et à une distance d'une vingtaine de mètres de l'antenne (fig. 2). Jamais la neige ne dépassait ce treillis. L'antenne était donc en réalité

au-dessus d'une large surface horizontale d'une quinzaine d'ares, qui continuait jusqu'à la mer la pente douce de la colline des Mégalestris.

Isoloirs. — L'isoloir qui supportait l'antenne fut, pendant la plus grande partie de l'année, un isolateur Mascart à acide sulfurique, solidement amarré sur une étagère. Seul support d'une antenne assez lourde,

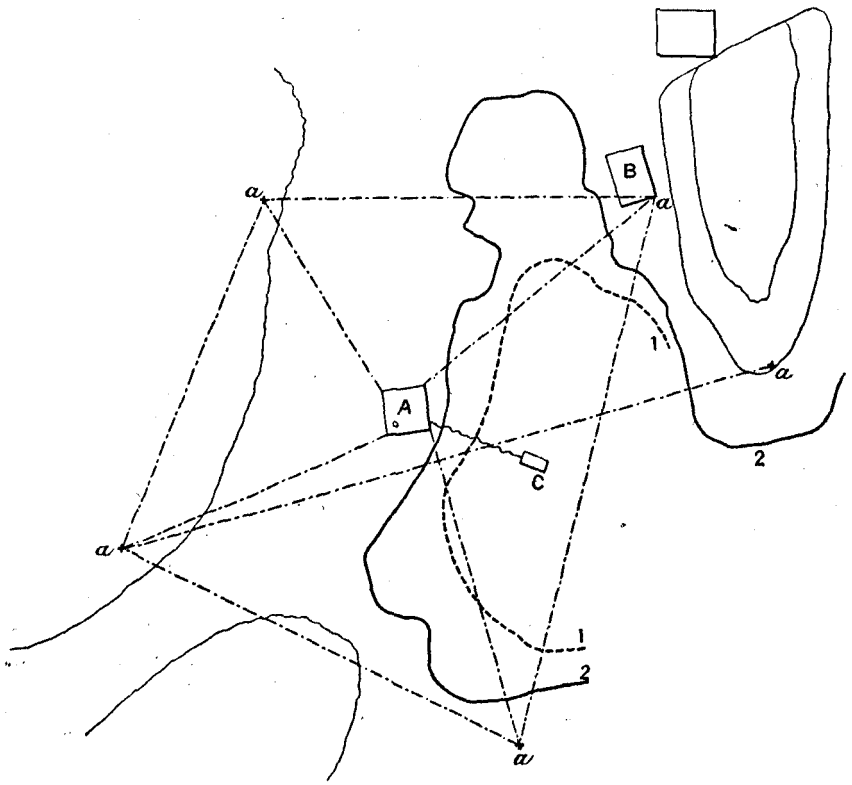


Figure 2.

A, cabane de l'électricité atmosphérique; B, cabane du sismographe; C, plaque de terre plongeant dans la mer; 1, trait de côte en hiver; 2, trait de côte en été; *a*, attaches des lignes principales du réseau de fil de fer - - - - - - - - (Les points A et *a* sont à la même altitude : $2^m,50$ au-dessus du niveau de la mer.)

il éprouva sans casser des pressions très fortes, pendant des coups de vent dont la vitesse dépassait 100 kilomètres à l'heure.

L'acide sulfurique fut presque continuellement gelé à l'intérieur du flacon, mais l'isolement n'a presque jamais laissé à désirer, et je n'ai eu à remplacer l'acide que deux fois pendant la série de mes observations.

Je vérifiais l'isolement de l'antenne régulièrement une fois par mois, et chaque fois que j'avais une interruption provenant d'un défaut quelconque d'isolement. Pour faire cette épreuve, j'enlevais l'égaliseur de

potentiel et je chargeais l'antenne et l'électromètre soit à l'aide d'une pile sèche de Zamboni, qui donnait environ 300 volts, soit à l'aide d'un petit électrophore que j'avais fabriqué à bord et qui me donnait 600 à 700 volts. La chute de potentiel était mesurée directement sur une échelle en millimètres collée sur l'enveloppe du cylindre enregistreur. La perte de tout le système dépassait rarement un dixième en dix minutes.

J'ai remplacé pendant le mois d'avril le support Mascart par un support à isolement d'ambroïde. Il était parfait tant qu'il restait sec, mais l'eau qui coulait le long de l'antenne aux dégels le mettait rapidement hors de service.

Électromètres. — L'Expédition possédait les deux électromètres Mascart, qui avaient servi aux officiers de la Mission du cap Horn de 1882-1883. Un seul arriva en bon état dans l'Antarctique. L'autre eut les supports de verre de ses quadrants brisés, probablement par les chocs que donna le bateau dans les glaces. Il faut soigner particulièrement l'emballage de cette partie délicate. J'ai pu d'ailleurs remplacer ces supports, d'abord par des morceaux d'agitateurs en verre collés à la gomme-laque, dont l'isolement ne s'est pas montré suffisant, puis par des petits bâtons d'ébonite allemande collés à la cire Golaz, dont l'isolement était bien meilleur. Aussi bien ce deuxième électromètre ne servait que de rechange à l'autre.

L'électromètre en service était installé à proximité de l'antenne, sur une table solidement fixée au sol. Le fil de charge était amarré à la borne du collecteur au radium, s'enroulait le long de l'antenne, était fixé à une borne au bas de l'antenne et allait directement à la borne de l'électromètre. Tous les contacts étaient fréquemment nettoyés.

L'électromètre était disposé comme le recommande M. Chauveau dans son mémoire sur l'électricité atmosphérique (*Annales du Bureau Central météorologique de France*, années 1899 et 1900). Nous avons reconnu bien vite que cet instrument présentait beaucoup d'inconvénients dans un fonctionnement par basses températures. L'acide sulfurique se congelait souvent pendant l'hiver dans le cristallisoir et, pour éviter le défaut d'isolement qui en résultait, j'étais forcé de changer l'acide une fois par semaine. Cette opération nécessite dans l'électromètre ancien modèle

un démontage délicat de l'instrument qu'il est pénible de faire quand il fait froid. Il arrivait fréquemment que la tige de platine, qui plonge dans l'acide sulfurique pour faire le contact entre l'aiguille et l'antenne, était complètement prise dans l'acide gelé, ce qui rendait ce démontage encore plus difficile.

Le défaut d'isolement ne provenait pas seulement du gel de l'acide, mais aussi d'une sorte de givre extrêmement foisonnant qui se déposait sur les bords du cristallisoir et le mettait en contact avec la cage.

Il se déposait aussi du givre sur l'électromètre, comme sur tous les objets de métal, lors des grandes variations de température. Mais ce givre, qui aurait pu faire contact à la longue entre la cage de l'électromètre et les bornes, n'a jamais été assez abondant pour interrompre nos observations.

Parfois, pendant les grandes tempêtes de NE, la neige en poudre s'introduisait dans la cabane, noyait les appareils, et nous n'avions alors d'autres ressources que d'aller le plus fréquemment possible remettre les choses en état.

La glycérine, dans laquelle plonge l'aiguille, n'a pas assuré toujours la stabilité du zéro. Si ce défaut provient, comme le pense M. Chauveau, d'une modification moléculaire à la surface du liquide dans lequel plonge l'aiguille, la glycérine n'est pas exempte de cette modification, car elle absorbe volontiers l'eau. J'ai pensé à remplacer la surface de la glycérine par un corps moins hygroscopique, et je suis arrivé à avoir un zéro stable en versant de l'alcool goutte à goutte à la surface de la glycérine.

La cage de l'électromètre était reliée par un câble en cuivre à une plaque de terre plongeant dans la mer sous de gros rochers.

Pile de charge. — La pile de charge était constituée par 50 éléments en petits pots en porcelaine, coulés dans un lit de soufre et de paraffine. Le liquide était une solution très faible de sulfate de magnésie, additionnée de 40 p. 100 d'alcool. L'essai de cette pile avait été fait à l'école municipale de physique et de chimie par M. Moulin, et elle s'était montrée constante jusqu'à — 15°. Malheureusement l'évaporation de l'alcool était si grande qu'une pile chargée depuis deux jours gelait vers — 8° et, à partir de ce moment, la force électromotrice variait beaucoup. En proté-

geant la pile par un couvercle percé seulement pour le passage des bornes, on peut diminuer l'évaporation et garder la pile liquide plus longtemps. Mais elle ne m'a pas paru constante avec la température.

J'en étais quitte pour étalonner plus souvent l'électromètre, en principe une fois par jour. Je ne pouvais pas faire cet étalonnage à l'aide d'une pile de 100 éléments analogue à la pile de charge, puisque je n'étais pas sûr du voltage de ces éléments. J'ai préféré procéder par comparaison avec un électroscope d'Elster et Geitel, dont l'étalonnage avait été soigneusement fait en France et dont je n'avais pas eu à changer les feuilles. Je branchais l'électroscope sur l'antenne en même temps que l'électromètre, et je faisais des lectures simultanées aux deux instruments.

En hiver, avec une charge de $\pm$ 25 éléments, le millimètre de la feuille valait en moyenne 4 volts; en été, par suite de l'élévation du champ, j'ai dû réduire l'échelle, et 1 millimètre valait 6 à 7 volts.

Enregistreur. — L'enregistreur était un cylindre d'enregistrement photographique Richard. Le mouvement d'horlogerie n'a eu qu'un ou deux arrêts accidentels, dus sans doute au froid. L'heure était marquée sur les feuilles, au moment du changement. La marche du cylindre a toujours été très régulière.

La lampe était du modèle ordinaire, à essence. Le tout était posé sur la même table que l'électromètre.

Réduction au plan. — Les réductions au plan, nécessaires pour déterminer les valeurs absolues du champ, ont été faites par comparaison avec un électroscope portatif à lectures directes d'Elster et Geitel, le même qui nous servait à étalonner notre électromètre.

Cet électroscope avait été étalonné avant le départ de France par M. Chauveau au Bureau central météorologique, au moyen de piles au sulfate de magnésie, et par M. Moulin à l'École municipale de physique et chimie, au moyen d'accumulateurs. Ces deux étalonnages concordaient et différaient très peu de celui du constructeur.

Le fonctionnement de cet instrument fut excellent; son isolement s'est toujours montré parfait, et j'ai eu le bonheur de ne pas avoir à changer les feuilles. Malheureusement pour les observations en plein air, comme

aucun abri ne garantissait l'instrument, il suffisait d'un vent assez faible pour faire remuer les feuilles, au point d'enlever toute précision aux lectures.

La prise de potentiel était soit un collecteur au radium identique à celui qui servait pour l'enregistrement, soit une lampe à bougie, fournie par le constructeur de l'électroscope.

Cette lampe, bien connue, n'est pas suffisamment protégée contre le vent. Une brise légère suffit à l'éteindre. En augmentant la hauteur de la cheminée de cuivre nickelé qui la protège, j'ai pu m'en servir par des vents assez forts, par exemple en traversant les alizés de l'Atlantique.

Le collecteur au radium ou la lampe était supporté par une canne d'ébonite vernie, dont l'isolement n'a jamais laissé à désirer. D'ailleurs, pour être plus sûr de l'isolement, la canne d'ébonite était emmanchée dans un isolateur à ambroïde, enfoncé lui-même dans le sol.

Pour faire les mesures de réduction au plan, je m'installais auprès de la cabane de l'électromètre enregistreur, au-dessus de la plaine de neige qui continue la pente de la colline des Mégalestris. La prise de potentiel, supportée par la canne d'ébonite, était à une hauteur de $0^m,58$ ou de $0^m,85$ au-dessus du sol, suivant la valeur du champ.

L'électroscope était placé à 5 mètres environ de la prise de potentiel, à laquelle il était relié par un fil de cuivre.

Je ne faisais ces mesures que par très beau temps, calme à peu près absolu, et champ électrique tranquille. J'observais en moyenne pendant une heure toutes les minutes. L'heure était marquée au début et à la fin de l'expérience sur la feuille de l'enregistreur.

La courbe des observations directes, ramenées à une hauteur de 1 mètre, concordait sensiblement avec la courbe de l'enregistreur.

Comme c'était à prévoir, étant données les dispositions de la cabane de l'électromètre enregistreur, j'enregistrais bien, à une dizaine de volts près, les valeurs absolues du champ.

Surveillance des instruments. — Dépouillements. — Trois fois par jour, j'allais m'assurer du bon fonctionnement des appareils. A une de ces visites, la feuille du cylindre enregistreur était changée, la lampe à essence remise au point et l'électromètre étalonné.

M. Senouque a bien voulu développer mes feuilles en même temps que celles du magnétisme.

Chaque semaine, je faisais le dépouillement de la façon suivante : pour chaque heure, sans tracer de courbe moyenne préalable, la moyenne de la courbe était pointée à l'œil, sa valeur mesurée en millimètres et transformée en volts suivant l'étalonnage du jour.

Chaque mois je groupais sur des tableaux spéciaux les valeurs du champ suivant les différents phénomènes météorologiques, afin d'avoir une idée des relations qui pouvaient exister entre eux.

Conductibilité spécifique de l'air.

Pendant l'hivernage à Port-Circoncision (île Petermann), j'ai effectué des mesures de la conductibilité de l'air à l'aide de l'appareil du Pr Gerdien (1).

J'observais assez loin du bateau, sur un tréteau, à 1 mètre environ au-dessus de la plaine de neige.

Cet instrument présentait dans l'Antarctique quelques inconvénients. On sait que l'isolateur d'ambre est protégé par un couvercle de métal qui n'est séparé que par 1 millimètre du support des feuilles d'aluminium. Cette disposition, dit le Pr Gerdien, a l'avantage d'empêcher la charge résiduelle de l'ambre d'avoir de l'influence sur le champ électrique des feuilles et assure à l'isolement une protection supérieure contre la poussière et l'humidité. Il arrivait malheureusement très souvent, une fois sur trois en moyenne, que les brins de laine qui se détachaient de mes vêtements tombaient dans l'électroscope, entraînés par le courant d'air, faisaient contact entre le couvercle et le support et me forçaient à un nettoyage de l'appareil toujours délicat dans ces pays froids.

D'autre part, je n'ai pas pu observer dès que la vitesse du vent dépassait 15 kilomètres à l'heure, car les feuilles de l'électroscope étaient alors agitées par le vent au point de rendre les lectures impossibles. Ce vent, d'ailleurs, suffisait à faire au ras du sol un chasse-neige superficiel qui

(1) L'appareil de Gerdien est décrit dans *Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* : Math-Phys. Klasse, 1905, Heft III.

pouvait très bien atteindre l'instrument et compromettre son isolement. De même, quand il tombait de la neige, le courant d'air entraînait des flocons qui tombaient dans l'électroscope et le déchargeaient instantanément.

Si l'on consulte les tableaux météorologiques et si l'on supprime les heures de précipitation et celles de vent supérieur à 15 kilomètres, on verra qu'il reste bien peu d'heures favorables pour l'appareil de Gerdien.

Ces mesures étaient faites en principe trois fois par jour à 9 heures du matin, 2 heures et 8 heures du soir. J'ai pu effectuer ainsi pendant l'hivernage 220 mesures.

Radioactivité.

Pour mesurer la radioactivité de la neige, je m'étais muni de l'électroscope Curie, construit par la Compagnie française des produits chimiques, dit « appareil de minéralogiste » (1). Afin que la neige ne puisse rendre humide l'isolement d'ambre, on avait ménagé entre la coupelle qui contenait la neige et le support des feuilles un sas qu'on pouvait dessécher au sodium. L'expérience m'a montré que ce sas était inutile, l'électroscope ayant toujours été en parfait état d'isolement.

La neige à examiner remplissait parfaitement une petite coupelle, placée au-dessous de la tige isolée de l'électroscope, terminée elle-même par un petit plateau parallèle à la coupelle. L'électroscope était chargé par frottement, et sa perte mesurée à l'aide d'un microscope muni d'un micromètre oculaire.

D'autres fois, la neige à examiner était fondue, et c'était l'eau de fusion que je mettais dans la coupelle. D'autres fois aussi la neige était évaporée à siccité, et le résidu était examiné.

J'opérais de la même façon pour tous les genres de précipitation.

Afin de m'assurer du bon fonctionnement de l'appareil, je faisais toujours une expérience à l'aide d'un échantillon d'épreuve à l'oxyde d'urane.

(1) C. Cheneveau et Laborde, Appareils pour la mesure de la radioactivité par la méthode électroscopique (*Journal de physique*, t. VIII, 4e série, 1909, p. 161).

Si, par les mesures que j'ai faites dans l'Antarctique, j'ai apporté à la science de l'électricité atmosphérique des documents intéressants, je serai heureux de continuer la tradition des officiers de la marine française, qui ont fait des séries d'observations analogues dans des régions voisines de celles où j'ai opéré, M. le lieutenant de vaisseau Lephay, au cap Horn en 1882-1883, et M. le lieutenant de vaisseau Rey, à l'île Wandel, pendant la première expédition du Dr Charcot, en 1904.

Je remercie MM. Moureaux, Langevin et Moulin des bons conseils qu'ils m'ont donnés avant mon départ, et particulièrement M. Chauveau, météorologiste au Bureau Central météorologique, qui a présidé à mon apprentissage de cette science.

CHAPITRE II

Principaux résultats des observations d'électricité atmosphérique faites à l'île Petermann (Lund).

L = 65° 10′S.
G = 66° 34′W Paris.

Mesures du champ. — La série d'enregistrements du champ électrique de l'atmosphère, qui a duré du 12 février au 19 novembre 1909, nous a donné comme valeur moyenne du champ, dans les conditions normales, 163 volts par mètre. La réduction au plan a été faite.

Ce chiffre résulte de 2 758 heures sans précipitation, ni vent supérieur à 25 kilomètres à l'heure. L'habitude de ne pas considérer les heures de précipitation est consacrée, et si j'ai négligé les heures de vent supérieur à 25 kilomètres, ce n'est pas à cause d'une influence directe du vent sur le champ électrique, mais à cause du chasse-neige qu'il produit à la surface du sol et qui, lui, est très positif.

Je faisais le dépouillement des feuilles de l'électromètre comme je l'ai indiqué précédemment, et j'inscrivais chaque mois sur des tableaux horaires les valeurs du champ dans les conditions normales. Je faisais ensuite la moyenne des chiffres correspondant à chaque heure. Dans chaque colonne, je supprimais les valeurs double ou moitié de la moyenne horaire correspondante, en considérant ces valeurs comme anormales, soit à cause d'un mauvais fonctionnement de l'appareil, soit à cause d'un phénomène météorologique concomitant, qui avait pu échapper aux observations. Il n'y avait environ, par mois, que 15 observations supprimées ainsi sur 300. Les moyennes horaires étaient refaites avec les chiffres conservés, et la moyenne des vingt-quatre valeurs horaires donnait la valeur moyenne adoptée pour le champ électrique pendant le mois considéré.

Le tableau ci-contre donne, en volts par mètre, les valeurs moyennes du champ pour les différents mois, calculées dans ces conditions :

FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOÛT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.
288	220	156	126	98	131	151	159	148	158

La variation annuelle du champ est très nette, avec un minimum bien accentué en juin, et un maximum probable (d'après l'allure même de la variation) en février. Le rapport entre les valeurs extrêmes est à peu près exactement de 1 à 3.

Cette variation annuelle, en un point de l'hémisphère austral, se montre ainsi identique à la variation annuelle bien connue dans nos régions de l'hémisphère boréal : le maximum et le minimum correspondent aux mêmes mois et non aux mêmes saisons. En même temps que se produit le minimum d'été de nos régions de l'hémisphère boréal, a lieu, dans l'hémisphère austral, un minimum d'hiver. La variation annuelle du champ électrique semble donc liée non pas aux influences saisonnières, mais à la position de la terre sur l'écliptique. C'est l'hypothèse ingénieuse antérieurement faite par M. le lieutenant de vaisseau Rey, comme résultant d'observations moins complètes que les nôtres, dans des régions analogues, au cours de la précédente expédition du Dr Charcot. Elle paraît trouver une confirmation remarquable dans nos résultats.

Des observations faites dans les régions tempérées de l'hémisphère sud décideront si cette variation annuelle est générale ou si elle est simplement particulière aux régions antarctiques.

Les variations diurnes, groupées par saison, sont données dans le tableau ci-contre :

VARIATION DIURNE DU CHAMP ÉLECTRIQUE (VOLTS PAR MÈTRE)

Heures.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Midi.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Minuit.	Moyenne.
Automne (mars-mai)	131	118	137	131	132	131	143	151	164	170	182	206	216	222	241	229	212	199	171	164	166	139	129	131	167
Hiver (juin-août) .	112	110	116	108	114	108	106	115	122	133	135	13[illegible]	138	150	154	149	147	154	143	139	123	115	1[illegible]8	103	127
Printemps (septembre-novembre).	117	111	118	125	121	116	120	129	144	158	176	186	192	198	221	208	198	192	175	174	141	149	125	123	155
9 mois	120	113	124	121	122	118	123	131	143	153	164	176	182	190	205	195	186	182	163	159	143	134	121	119	149

L'oscillation est à simple période, avec un maximum de jour assez net à 3 heures du soir, et un minimum de nuit, mal déterminé par cette série trop courte, entre 2 heures et 6 heures du matin. M. Rey l'avait trouvée de même allure à Port-Charcot (île Wandel). Elle est du type de l'oscillation indiquée par M. Chauveau comme représentant la loi générale de la variation diurne, en dehors de l'influence perturbatrice due au voisinage du sol, qui, dans nos régions tempérées, dédouble l'oscillation simple et produit un maximum du matin, particulièrement net pendant la saison chaude. Or, ici, bien que l'appareil fût situé au voisinage du sol, on ne trouve pas trace de cette oscillation du matin. L'influence perturbatrice semble nulle. Il est peut-être permis de rapprocher ce fait d'un autre résultat, signalé plus loin, de nos observations à l'île Petermann, à savoir, l'absence complète de radioactivité dans les précipitations atmosphériques, aussi bien que dans toutes les substances constituant la surface du sol.

Les relations les plus remarquables qui existent entre les phénomènes météorologiques et le champ électrique de l'atmosphère m'ont paru être les suivantes :

Le chasse-neige, qui se produit à la surface du sol dès que la vitesse du vent dépasse 20 à 25 kilomètres à l'heure, est extrêmement positif. Souvent ce chasse-neige est à peine visible, s'élève seulement à une hauteur de quelques centimètres au-dessus du sol, et le champ électrique atteint déjà un millier de volts. Quand le vent est très fort et que le chasse-neige devient une véritable tourmente de neige, le champ

électrique dépasse certainement 3000 à 4000 volts par mètre. Le phénomène est d'ailleurs tout à fait indépendant de la direction du vent.

La neige, lorsqu'il fait calme, n'est pas toujours très positive. Nous avons eu plusieurs journées de neige très forte, où le champ est normal, et où la variation diurne ordinaire a été conservée.

Les observations négatives, qui sont au nombre de 164 pendant toute la durée de nos observations, accompagnent presque toutes de la pluie ou de la neige avec thermomètre voisin de zéro. Nous avons observé cependant parfois, pendant les coups de vent, des averses de pluie très nettes avec un champ positif intense, par exemple, les 23 et le 24 mars, par une température de + 5°.

La brume, quand il fait calme, paraît diminuer le champ.

Le givre, qui se dépose sur les objets avec beaucoup d'intensité pendant la nuit, est très positif. Le champ monte brusquement de plusieurs centaines de volts, puis baisse lentement, remonte de nouveau, comme s'il se faisait le long de l'antenne de l'égalisateur de potentiel un apport intermittent de charges positives.

Afin d'illustrer les remarques qui précèdent, nous publions quelques courbes qui, à notre avis, peuvent servir de types (Pl. III à Pl. VII).

Une remarque préliminaire s'impose d'abord : c'est que l'allure générale du phénomène est tout à fait comparable à celle qu'on a enregistrée, avec des instruments analogues, en France, et même au milieu des villes. Nous étions dans une région absolument déserte, et nos courbes ont l'allure tourmentée de celles que, par exemple, M. Chauveau a obtenues au Bureau Central météorologique de Paris.

Les tableaux donnent, pour chaque courbe, les principaux éléments météorologiques qui lui correspondent.

Les courbes 1 à 7 sont des courbes de Beau Temps, choisies dans les différentes saisons. Il fait à peu près calme, le ciel est peu couvert, et si, par hasard, il tombe quelques flocons de neige comme à 20 heures le 4 mars (courbe n° 1), ou à 22 heures le 26 octobre (courbe n° 6), on voit que ce phénomène ne change en rien la marche régulière de la courbe. La variation diurne est très nette en toute saison. Les différentes formes de nuages ne paraissent pas avoir d'influence particulièrement marquée.

Cependant, lorsque le ciel est couvert d'un voile uniforme de nimbus ou de stratus, le champ est plus calme, comme, par exemple, pendant les heures de nuit des courbes nos 1, 2 et 6.

Les courbes nos 8, 9 et 10 montrent l'influence du givre sur le champ. Pendant toute la durée du dépôt de givre, la courbe présente des crochets positifs très importants, dépassant de plusieurs centaines de volts la valeur normale, et inversant complètement la variation diurne du phénomène.

La courbe no 11 nous donne un exemple de chute de neige, par petit vent du Sud, ayant une influence sur le champ. Après la très belle journée du 1er juillet, pendant laquelle le champ électrique a eu sa variation diurne normale, le 2 juillet, de 4 heures à 6 heures du matin, une petite neige tombe en flocons, et fait monter brusquement la valeur du champ, qui redevient normal dès que la neige cesse. Les deux valeurs négatives qui précèdent la montée brusque du champ sont intéressantes, car la température était alors de — 9°,4, et il est peu probable qu'il ait plu. Cette influence très positive de la neige est d'ailleurs, je le répète, assez rare.

Les courbes nos 12, 13 et 14 montrent en effet que des chutes de neige très intenses peuvent ne pas modifier le champ. Ainsi, le 26 juin (courbe no 12), la neige cesse à minuit, et la courbe continue le 27 juin à avoir la même allure. Le 25 octobre (courbe no 13), le champ est assez tourmenté pendant la chute de neige, mais il n'atteint pas des valeurs excessives. Le 26 octobre (courbe no 14), la variation diurne normale est conservée.

Les courbes nos 15 à 19 nous donnent l'allure du champ électrique pendant les coups de vent. Dans la plupart des cas, d'ailleurs, le champ prend des valeurs excessivement fortes, et l'image de l'aiguille sort de la feuille pendant des journées entières. Nous n'avons évidemment reproduit que des phénomènes de moindre intensité, afin que la courbe soit toujours visible. La valeur du champ suit parfaitement la force du vent, et dès que le vent reprend une vitesse normale, le champ redevient normal.

Les courbes nos 15, 16 et 17 ont été enregistrées pendant des vents

du NE; la courbe n° 19 montre que les choses passent de la même façon, lorsque le vent souffle du SW. Il semble hors de doute que c'est le chasse-neige qui cause ces grandes valeurs positives du champ. Ce chasse-neige, *drifting snow*, n'a lieu souvent qu'à la surface du sol et ne figure pas alors dans nos observations météorologiques, puisque le signe ⊥ désigne seulement la grande tourmente de neige. Les flocons de neige qui tombent et que le vent emporte avec une grande vitesse ont sans doute aussi une influence analogue.

La courbe n° 16 montre aussi qu'après le coup de vent la pluie en surfusion, qui tombe dans l'après-midi du 31 août, n'a pas une grande influence sur le champ.

La courbe n° 17 donne un exemple, au milieu du coup de vent, de deux chutes de pluie bien caractérisées et nettement négatives.

Enfin la courbe n° 18 est d'un type assez fréquent de coup de vent accompagné de pluie et de neige. Le champ passe brusquement de valeurs extrêmement positives à des valeurs extrêmement négatives, et la feuille est littéralement peinte par l'image de l'aiguille.

Conductibilité de l'air. — Pendant toute la durée de l'hivernage, nous nous sommes servis de l'appareil du Pr Gerdien pour mesurer la conductibilité spécifique de l'air.

En principe, nos observations étaient faites trois fois par jour, à 9 heures du matin, à 2 heures et 9 heures du soir. Malheureusement ces observations ne pouvaient se faire ni lorsqu'il neigeait, ni lorsqu'il y avait beaucoup de vent, à cause du chasse-neige qui compromettait l'isolement de l'appareil.

Nous n'avons pu exécuter du 2 mars au 18 novembre que 220 mesures.

Suivant l'usage, j'appelle λp la conductibilité de l'air pour une charge négative et λn la conductibilité de l'air pour une charge positive.

Ces valeurs ont été calculées d'après la chute de potentiel observée à l'électroscope par les formules connues $\lambda p = K \log \frac{V_1 n}{V_2 n}$ et $\lambda n = K \log \frac{V_1 p}{V_2 p}$, où K est une constante dépendant de la capacité, des dimensions de l'instrument et de la durée de l'expérience, V_1 la différence de potentiel initiale et V_2 la différence de potentiel après le passage de l'air.

La conductibilité totale de l'air λ est égale à $\lambda p + \lambda n$.

Le tableau suivant donne la moyenne des résultats obtenus pour chaque mois, et le champ électrique correspondant à l'instant des expériences :

MOIS.	λ_p.	λ_n.	λ.	$\frac{\lambda_p}{\lambda_n}$	CHAMP ÉLECTRIQUE.
Mars	1,84	1,32	3,16	1,39	269 volts.
Avril	2,20	1,62	3,82	1,36	152 —
Mai	2,82	1,28	4,10	2,20	119 —
Juin	4,33	2,89	7,22	1,48	101 —
Juillet	3,31	2,07	5,38	1,88	142 —
Août	2,55	1,52	4,07	2,61	158 —
Septembre	2,18	1,01	3,19	2,20	155 —
Octobre	2,02	1,26	3,28	2,04	180 —
Novembre	1,86	1,37	3,23	1,77	190 —

Ainsi les mesures de la conductibilité de l'air donnent comme moyenne générale :

$\lambda_p = 2{,}57 \times 10^{-4}$ unités électrostatiques.
$\lambda_n = 1{,}59 \times 10^{-4}$ — —
$\lambda = 4{,}16 \times 10^{-4}$ — —
$\frac{\lambda_p}{\lambda_n} = 1{,}62.$

A l'île Petermann, la conductibilité spécifique de l'air semble un peu plus forte que dans les régions tempérées où l'on s'est servi jusqu'ici de l'appareil de Gerdien.

Le rapport $\frac{\lambda_p}{\lambda_n}$ indique que la conductibilité pour une charge négative est normalement plus forte que pour une charge positive, ce qui a été observé un peu partout soit avec l'appareil de Gerdien, soit avec celui d'Elster et Geitel.

La variation annuelle de la conductibilité est très nette et absolument inverse de celle du champ électrique correspondant.

En faisant séparément la moyenne des valeurs de λ de neuf heures du matin, de deux heures et de neuf heures du soir, on obtient les résultats suivants :

	9 H.	14 H.	21 H.
Mars-Avril-Mai	3,46	3,57	3,37
Juin-Juillet-Août	5,66	5,61	5,68
Septembre-Octobre-Novembre	3,14	3,42	3,18

En automne et au printemps, la conductibilité de l'air est plus forte dans l'après-midi que le matin et le soir ; en hiver, cette variation diurne disparaît complètement.

La variation diurne du champ électrique est au contraire très marquée en toutes saisons. D'ailleurs, entre les valeurs de la conductibilité de l'air, telle que la mesure l'appareil de Gerdien, et les valeurs du champ enregistrées au même moment, il n'existe que des rapports tout à fait irréguliers.

Radioactivité. — Nous avons fait de nombreuses mesures de radioactivité des précipitations atmosphériques pendant tout notre séjour dans l'Antarctique à l'aide de l'électroscope Curie, dit appareil de minéralogiste. Nous avons mesuré la radioactivité de la pluie, de la neige, de la glace vieille et jeune, de l'eau de mer, du givre, du grésil, du verglas et en général de tout ce qui nous est tombé sous la main.

Une petite quantité de la matière à examiner était déposée dans une petite coupelle sous l'électroscope, absolument comme on procède pour les minéraux. D'autres fois, la neige ou la glace était évaporée à siccité dans la coupelle.

Les mesures furent faites plusieurs fois par mois.

Nous n'avons jamais pu déceler la moindre action de ces substances sur un appareil dont le bon fonctionnement nous était d'ailleurs garanti par l'action énergique de l'échantillon d'épreuve que nous avions emporté.

CHAPITRE III

Observations d'électricité atmosphérique en divers points de l'Antarctique.

Mesures du champ. — Ces mesures ont toutes été faites à l'aide de l'électroscope à lectures directes d'Elster et Geitel. Le collecteur au radium ou la lampe qui servaient de prise de potentiel étaient supportés par une canne d'ébonite enfoncée dans le sol, auprès du rivage de la mer. Nous n'observions que par beau temps.

Le tableau suivant donne les moyennes des observations effectuées à chaque station :

STATIONS.	LATITUDE.	LONGITUDE.	NOMBRE D'OBSERVATIONS.	DATE.	CHAMP EN VOLTS par mètre.
Ile Déception.....	62° 58′ S	62° 54′ W	2	Décembre 1908.	91
Port-Lockroy.....	64° 49′	65° 49′	2	—	212
Port-Charcot.....	65° 04′	66° 22′	1	—	128
Ile Petermann.....	65° 10′	66° 34′	5	Janvier 1909.	300
Baie Marguerite	67° 43′	70° 46′	5	—	165

Il est intéressant de constater que le chiffre de 300 volts, moyenne de cinq observations faites au mois de janvier sur l'île Petermann, s'intercale bien dans la série des valeurs mensuelles du champ, que nous avons publiées plus haut.

Mesures de la dispersion des charges électriques dans l'atmosphère. — Ces mesures ont été faites à l'aide du dispositif spécial qui s'adapte à l'électroscope d'Elster et Geitel. Ce dispositif a été déjà décrit dans de nombreux mémoires. La dispersion s'effectue entre un cylindre isolé, préalablement chargé, et une sorte de marmite qui l'enveloppe complètement. L'électroscope mesure les pertes de charge. Les mesures ainsi obtenues n'ont pas une grande signification absolue, mais, comme des appareils semblables ont été très fréquemment employés, les observations peuvent être utilement comparées entre elles.

La notation adoptée couramment est contraire de celle dont on se sert pour l'appareil de Gerdien. Ici m_p désigne la vitesse de la déperdition pour une charge positive et m_n la vitesse de déperdition pour une charge négative.

Nous avons obtenu les valeurs moyennes suivantes pour ces éléments, calculées d'après la formule $m = K (\text{Log } V_1 - \text{Log } V_2)$, où K désigne un coefficient dépendant de la durée de l'expérience et de la capacité de l'appareil, V_1 et V_2 la charge au début et à la fin de l'expérience.

STATIONS.	DATE.	NOMBRE D'OBSERVATIONS.	M_p.	M_n.
Ile Déception	Décembre 1908.	2	0,0144	0,0208
Port-Lockroy	—	2	0,0175	0,0352
Port-Charcot	—	1	0,0185	0,0369
Ile Petermann	Janvier 1909.	5	0,0051	0,0162
Baie Marguerite	—	5	0,0048	0,0159

La déperdition pour une charge négative est toujours plus grande que pour une charge positive, résultat analogue à celui que nous avons trouvé pour les conductibilités.

CHAPITRE IV

Observations du champ électrique de l'atmosphère en mer dans l'Atlantique.

Les observations que nous publions dans les tableaux suivants ont été faites à bord du « Pourquoi Pas? » pendant les traversées d'Europe au détroit de Magellan. Sur les régions de l'océan Atlantique que nous avons parcourues, il n'avait jamais été fait à notre connaissance de mesures du champ électrique de l'atmosphère. D'ailleurs, les mesures analogues en mer ont été jusqu'ici très rares.

On se heurte en effet, à bord d'un navire, à des difficultés particulières. Les roulis peuvent rendre impossibles les lectures de l'électroscope, et il est difficile de trouver à bord un endroit suffisamment dégagé pour qu'on n'ait pas à craindre de perturbations accidentelles du champ, et même pour qu'il y ait un champ mesurable. On ne peut pas installer la prise de potentiel au sommet d'un mât, car il serait difficile d'assurer là-haut un isolement parfait d'une façon constante, et il faudrait un fil conducteur tellement long qu'il ne pourrait parvenir à l'électroscope sans rencontrer d'obstacles. Sur les navires en fer à muraille verticale, on pourrait faire passer par un sabord une perche horizontale qui déborderait la coque de 1 mètre à $1^{m},50$. L'électroscope serait alors convenablement installé dans une chambre. Si le sabord est assez élevé au-dessus de la flottaison et si le bateau roule peu, ce qui est le cas général des grands navires, je pense qu'on pourrait faire ainsi de bonnes mesures.

Sur le « Pourquoi Pas ? », j'étais dans les conditions les plus mauvaises : très forts roulis à la moindre houle, pont excessivement encombré, petit bateau à voile au gréement très important. Après plusieurs tâtonnements en rade de Cherbourg, j'ai trouvé sur l'arrière une place où je mesurais un champ électrique appréciable, et c'est celle que j'ai adoptée. Elle avait plusieurs avantages. D'abord c'était l'endroit du bateau où le gréement était le moins encombrant, puisque le « Pourquoi

Pas ? » était gréé en trois-mâts barque ; en plaçant l'électroscope presque dans l'axe du navire, les roulis étaient moins gênants pour les lectures ; enfin, dans cette partie du navire, je ne dérangeais absolument personne et je pouvais faire mes mesures à loisir.

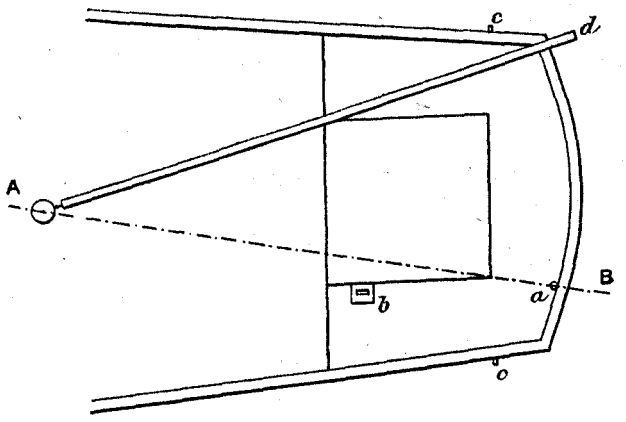


Figure 3.

Je représente sur la figure 3, d'une façon schématique, l'arrière du « Pourquoi Pas ? » et mon installation. La canne qui supporte la prise de potentiel est en *a*, fixée à la lisse de plat bord ; l'électroscope est en *b*, sur le pont. Autour de nous, nous n'avons comme cordages que les étais du perroquet de fouque, en *c*, et le gréement du gui *d*. Pendant nos mesures, le gui était brassé à tribord le plus possible. Son écoute de bâbord traîne sur le pont et ne peut pas, par suite, nous gêner. La balancine de gui seule trouble le champ. Sur la coupe que j'ai représentée (fig. 4), on voit que la prise de potentiel est à l'extérieur de tout, et en supposant que les lignes équi-potentielles suivent l'ensemble du navire, coque et gréement, il est probable qu'elles peuvent être représentées comme je l'ai fait en pointillé sur la figure 5. La mise en place des voiles ne troublait en rien le champ, puisque ces voiles étaient établies à l'intérieur

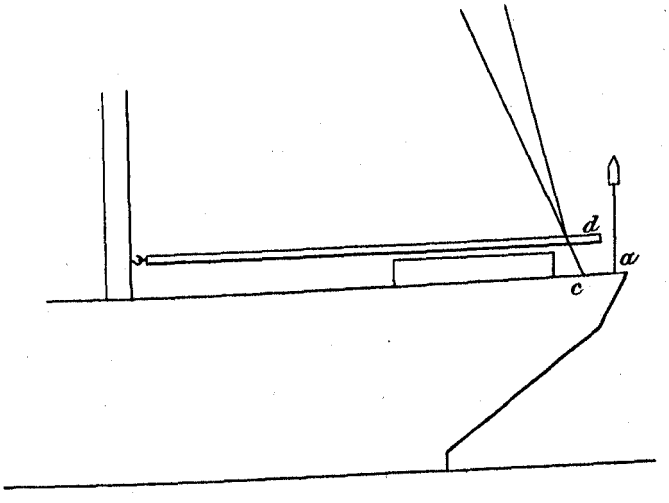


Figure 4. — Coupe suivant AB.

de la cage conductrice formée par le gréement. La hauteur efficace de l'égaliseur de potentiel était sa distance à cette cage conductrice et n'était pas changée par les roulis du navire.

L'égaliseur de potentiel était une lampe à bougie spéciale, fournie par Elster et Geitel. Comme j'ai eu déjà l'occasion de le signaler dans le chapitre sur les observations d'électricité atmosphérique faites dans l'Antarctique, cette lampe n'est pas suffisamment protégée contre le vent. La moindre brise et le moindre roulis suffisaient à l'éteindre. Je n'ai pu m'en servir qu'après avoir augmenté de 3 à 4 centimètres la hauteur de la cheminée de cuivre nickelé qui la protège. J'ai pu alors la garder allumée par des brises de force 3 ou 4, et son fonctionnement n'a jamais laissé à désirer. Avant le départ, j'avais fait plusieurs mesures avec elle, et j'avais trouvé qu'elle se mettait très vite en équilibre avec le champ. Plusieurs fois, en mer, j'ai remplacé la lampe par une prise de potentiel au radium, et je n'ai remarqué aucune différence dans le fonctionnement de ces égaliseurs.

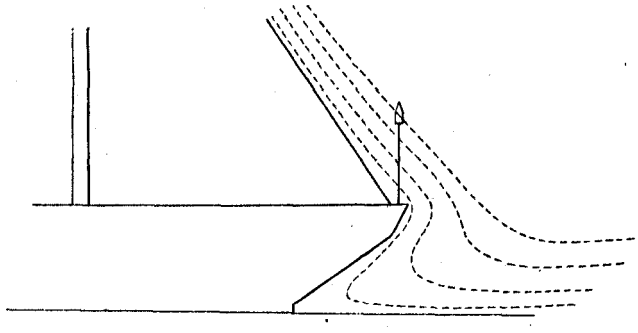


Figure 5.

L'égaliseur était supporté, au-dessus de la lisse, par une canne d'ébonite, enfoncée elle-même dans un isoloir à ambroïde, ce qui mettait la flamme à une hauteur de $0^m,95$ au-dessus de la lisse. L'isolement de ce système était souvent vérifié et s'est toujours montré parfait.

L'électroscope dont je me servais était l'électroscope à lectures directes d'Elster et Geitel. Je n'ai pas eu pendant tout le voyage à changer les feuilles, et il avait été étalonné soigneusement avant le départ de Paris. Je posais l'électroscope sur le pont et je me couchais moi-même à côté de lui pour faire les lectures. L'électroscope était ainsi abrité contre le vent par le bastingage ; c'est une précaution essentielle à prendre, car le vent, plus que le roulis, rend les lectures impossibles. Lorsque les roulis sont réguliers et pas très amples, les deux feuilles de l'électroscope

oscillent en gardant sensiblement le même angle. Si les roulis sont brusques, l'inertie des feuilles intervient, et les deux feuilles ont un mouvement propre d'oscillation qui fausse complètement les lectures. Il m'a paru que le plus commode était de saisir l'instant où le bateau passait par la position droite, et aussi de n'observer qu'au moment où les roulis sont faibles. Il y a toujours, même sur un petit bateau comme le nôtre, tous les cinq ou six coups de roulis, un roulis raté qui reste très faible. C'est l'instant favorable de l'observation.

Évidemment, on ne peut observer que par beau temps, mais ce sont justement ces observations-là qui sont intéressantes.

En moyenne, je restais une demi-heure à trois quarts d'heure en observation. Je faisais une vingtaine de lectures de l'électroscope. Presque toutes mes séries sont très régulières, et, par comparaison avec les mesures que j'ai faites à terre avec le même appareil, il m'a semblé qu'en général le champ électrique était, en mer, plus régulier et moins sujet à des variations brusques.

Dans les tableaux qui suivent, je publie pour chaque observation la moyenne de ces vingt lectures, après l'avoir corrigée du coefficient qui résulte de mes mesures de réduction au plan. J'ai pu en effet, pendant l'hivernage à Port-Circoncision dans l'Antarctique, étalonner ma station à bord du « Pourquoi Pas ? », par comparaison avec celle que j'avais installée à terre et où j'ai enregistré pendant dix mois la valeur du champ électrique de l'atmosphère. J'ai choisi, pour faire cette réduction au plan, un jour calme de printemps. Le navire, complètement pris dans la glace, était immobile, et les lectures de l'électroscope étaient ainsi très sûres. Tout était disposé autour de l'égaliseur de potentiel comme pour nos mesures à la mer. J'ai pu ainsi constater que le champ électrique observé à bord suivait les mêmes modifications que celui que j'enregistrais à terre et lui était parfaitement comparable. Le coefficient de réduction était 1,5.

Je dois ajouter que j'ai essayé de faire en mer des mesures de déperdition avec l'appareil d'Elster et Geitel et de conductibilité de l'air avec l'appareil de Gerdien. Les lectures de l'électroscope ne m'ont pas paru suffisamment précises pour que je continue à faire ces mesures. Car la valeur absolue d'une lecture n'intervient plus alors, mais seulement la

différence de deux lectures, puisqu'on mesure une perte de charge, et si cette différence est de l'ordre de grandeur de l'erreur d'une lecture, on n'a aucune précision. D'autre part, on ne peut plus choisir l'instant des lectures, puisqu'il faut lire au bout d'un temps déterminé, qui peut très bien ne pas coïncider avec une période de calme dans les roulis.

Principaux résultats. — Nos observations ont été prises sur une ligne à peu près droite de l'Espagne au détroit de Magellan, en passant par Madère, les îles du Cap-Vert, et en suivant la côte du Brésil et de la République Argentine. Jusqu'à Buenos-Ayres, elles ont eu lieu pendant les mois de septembre et d'octobre; au sud de Buenos-Ayres, pendant le mois de mars.

Voici quelle est la valeur moyenne du champ, pour les mois considérés dans les différentes régions que nous avons parcourues :

Par 45° N, le champ a une valeur moyenne de 200 volts environ.

Vers 42° N, on franchit une ligne de temps couvert et à grains où le champ diminue fortement et devient même nul.

Dès que l'on rencontre les vents de NE, le champ est plus fort.

A Funchal, par 35° N environ, la valeur moyenne observée est de 130 volts.

De 30° N à 10° N en plein alizé, le champ a une valeur sensiblement constante dont la moyenne est de 110 volts.

De 8° N à 4° N, dans la région du pot-au-noir, le champ a une valeur moyenne de 50 volts seulement.

De 3° N à 15° S, dans l'alizé du SE, le champ a une valeur sensiblement constante de 120 volts en moyenne.

De 15° S, jusqu'à Rio-de-Janeiro, le champ est irrégulier, soumis à de brusques variations, assez faible vers le 20e degré de latitude sud.

De 24° S à 35° S, de Rio à Buenos-Ayres, la valeur moyenne du champ est en octobre de 160 volts et en avril de 150 volts.

Enfin, de 36° S à 48° S, de Buenos-Ayres au détroit de Magellan, le champ est en mars de 150 volts. On peut donc admettre que, de Rio au cap Horn, le champ est sensiblement constant.

D'une façon générale et un peu hypothétique, au point de vue électrique, on peut diviser l'Atlantique en plusieurs régions, dont les lignes

de séparation sont justement les régions de calmes et de grains qu'on rencontre à l'équateur thermique et vers les tropiques. Au nord et au sud des calmes et des grains des tropiques, dans les régions tempérées des deux hémisphères, le champ électrique est élevé et comparable à celui qu'on observe en Europe, à terre, environ 200 volts par mètre aux mois de septembre-octobre.

Entre les calmes tropicaux et le pot-au-noir, dans les régions des alizés, le champ est sensiblement plus faible, 120 volts en moyenne.

Enfin, dans les régions de calmes et de grains, tant à l'équateur qu'aux tropiques, le champ est faible et a une valeur moyenne de 50 volts.

La variation diurne du champ électrique de l'atmosphère est bien marquée en mer. Nous n'avons évidemment pas assez d'observations pour en trouver la loi, mais cependant, dans certaines régions, nos observations suffisent à démontrer son existence.

Ainsi, à Madère, si nous prenons la moyenne de nos observations faites entre 9 heures et 10 heures, nous trouvons 102 volts, entre 14 heures et 18 heures, 166 volts.

Dans la région des alizés de NE, nous pouvons grouper nos observations de la façon suivante :

	ENTRE 1 H. ET 4 H.	A 6 H.	ENTRE 8 H. ET 10 H.	ENTRE 13 H. ET 16 H.	A 22 H.
Moyenne en volts. .	81	98	102	131	90

Il semble donc bien qu'en mer, comme pour les stations continentales, le champ électrique ait un maximum dans l'après-midi et un minimum dans les premières heures du jour.

OBSERVATIONS DU CHAMP ÉLECTRIQUE EN MER.

Dates.	Heures.	Latitude.	Longitude (Paris).	Champ électrique en volts.	Nébulosité et forme des nuages.	Temps.
6 septembre 1908.	14	48° 20′ N	7° 50′ W	220	1 K.	Calme.
7 septembre.	10	45° 40′ N	9° 40′ W	210	0	Vent de NE, force 1.
8 septembre.	18	43° 30′ N	11° 30′ W	0	10 N. KN.	Grains de pluie fréquents.
9 septembre.	10	41° 00′ N	13° 00′ W	40	3 K.	Vent de NNE, force 3.
—	18	40° 20′	14° 00′ W	150	3 K.	Vent de NqNE, force 4.
10 septembre.	17	38° 00′ N	15° 30′ W	125	5	Vent de NNE, force 3.
12 septembre.	14	Rade de Funchal.		185		Calme.
13 septembre.	9	—		115	5 K. N.	Calme.
—	17	—		120	8 K. KN.	Calme.
14 septembre.	9	—		95	1	Ciel très cair. Vent du Sud, force 1.
—	17	—		115	1	
15 septembre.	10	—		100	2 K.	
—	18	—		300	1 C.	Vent d'Est, force 1. Quelques cirrus en panaches.
16 septembre.	10	—		100	1 K. CK.	Vent du SW, force 1.
—	17	—		110	1	Calme.
17 septembre.	6	32° 00′ N	20° 00′ W	95	5 K. N.	Vent de NNE, force 3.
—	17	30° 00′ N	20° 30′ W	130	4 K.	Vent de NNE, force 3. Petite houle.
18 septembre.	9	29° 00′ N	21° 00′ W	105	7 S. K. CS.	Vent du NE, force 3. Petite houle.
—	22	27° 00′ N	22° 00′ W	85	2 K.	Vent du NE, force 2 à 3. Petite houle.
19 septembre.	13	25° 30′ N	23° 00′ W	135	2 CK.	Vent du NE, force 3. Petite houle légèrement déferlante.
20 septembre.	1	24° 00′ N	24° 00′ W	75	1 K.	Vent du NE, force 4. Petite houle déferlante.
—	13	22° 30′ N	25° 00′ W	125	1 K. C.	Vent du NEqN, force 3. Petite houle déferlante.
21 septembre.	4	20° 30′ N	26° 00′ W	87	6 K. S.	Vent du NE, force 3 à 4. Petite houle.
—	16	19° 00′ N	26° 30′ W	130	9 CK. CS.	Vent du NE, force 4. Houle.
22 septembre.	10	Rade de Saint-Vincent.		105	7 C. K.	
—	17	—		90	5 K. KN.	
23 septembre.	14	16° 00′ N	27° 30′ W	120	5 K. C.	Vent d'ESE, force 1, mer plate.
24 septembre.	6	15° 00′ N	27° 30′ W	100	5 K. S.	Vent d'Est, force 2, mer plate.
—	16	14° 00′ N	27° 30′ W	145	3 K. C.	Vent d'ENE, force 2. Petite houle.
25 septembre.	8	13° 00′ N	27° 30′ W	100	5 K.	Vent d'ENE force 3. Petite houle.
—	22	10° 00′ N	28° 00′ W	95	1 K.	Vent d'ENE, force 3. Petite houle. Éclairs dans l'Ouest.
26 septembre.	15	8° 00′ N	28° 00′ W	60	3 CK.	Vent du SE, force 1. Petite houle.
27 septembre.	1	7° 00′ N	27° 30′ W	40	1 K. S.	Calme. Mer lisse.
—	14	6° 00′ N	27° 30′ W	50	7 K. KN.	Calme. Temps à grains.
28 septembre.	6	4° 30′ N	27° 30′ W	50	8 SK. K.	Vent de SSE, force 2. Petite houle.
—	18	3° 00′ N	27° 00′ W	145	5 K.	Vent de SSE, force 2. Houle.
29 septembre.	8	2° 00′ N	27° 30′ W	130	7 AK. K	Vent de SEqS force 3. Petite houle.
—	21	1° 00′ N	28° 00′ W	125	0	Vent de SEqS, force 3. Houle.
30 septembre.	15	0° 40′ S	29° 00′ W	130	3 CK. K.	Vent de SEqS, force 2. Houle.
1er octobre.	1	2° 00′ S	29° 00′ W	90	3 K. KN.	Vent de SEqE, force 2. Houle.
—	14	3° 00′ S	30° 30′ W	140	1 S.	Vent de SEqS, force 2. Petite houle.
2 octobre.	6	4° 30′ S	31° 30′ W	95	2 K.	Vent d'ESE, force 3. Petite houle.
—	16	6° 00′ S	32° 00′ W	140	4 CS.	Vent d'ESE, force 2. Houle.
3 octobre.	9	8° 00′ S	33° 00′ W	140	4 K. AK.	Vent d'EqSE, force 3. Houle du SE.
—	22	10° 00′ S	34° 00′ W	130	0	Vent d'EqSE, force 3.
4 octobre.	13	11° 00′ S	35° 00′ W	55	10 S. KN.	Vent d'EqNE, force 4. Houle déferlante. Temps à grains.
5 octobre.	2	13° 00′ S	36° 00′ W	115	2 S.	Vent d'Est, force 3. Houle.
—	13	14° 00′ S	37° 00′ W	170	4 K. KN.	Vent d'Est, force 2. Petite houle. Grains.
6 octobre.	7	15° 00′ S	38° 00′ W	125	8 CK.AK.K.	Vent de SE, force 1 à 2. Petite houle.
8 octobre.	15	Rade de Joacema.		85	8 K. N.	
9 octobre.	21	17° 00′ S	41° 00′ W	40	7 AK.	Petite houle de l'Est.
12 octobre.	5	23° 00′ S	45° 00′ W	40	9 SK.	Vent d'Ouest, force 1 à 2.
—	12	Rade de Rio-de-Janeiro.		0	9 SK.	Vent du Sud, force 2.
13 octobre.	14	—		185	2 AS.	Vent du Sud, force 2.
15 octobre.	9	—		300	7 CK. S.	Calme.
21 octobre.	6	24° 00′ S	46 °00′ W	60	2 K. S.	Vent du SSE, force 1. Mer belle.
—	16	25° 00′ S	47 °00′ W	175	1 K.	Vent d'Est, force 2. Mer plate.

OBSERVATIONS DU CHAMP ÉLECTRIQUE EN MER (*Suite*).

Dates.	Heures.	Latitude.	Longitude (Paris).	Champ électrique en volts.	Nébulosité et forme des nuages.	Temps.
22 octobre 1908.	9	27° 00′ S	49° 00′ W	155	2 K.	Vent d'ENE, force 3. Petite houle déferlante.
—	21	28° 00′ S	49° 30′ W	80	7 K. S. CS.	Vent de NNE, force 3. Petite houle déferlante.
25 octobre.	16	33° 00′ S	53° 00′ W	400	0	Vent d'Ouest, force 1. Longue houle.
26 octobre.	8	34° 30′ S	56° 00′ W	85	0	Vent de NW, force 1 à 2. Mer très belle.
27 octobre.	9	35° 00′ S	59° 00′ W	200	0	Vent du NE, force 2. Mer très belle.
28 février 1910.	13	47° 30′ S	67° 30′ W	150	4 C.	Vent du NE, force 1. Mer belle.
1er mars.	12	45° 00′ S	67° 00′ W	150	0	Calme. Mer très belle.
2 mars.	12	42° 30′ S	65° 20′ W	160	4 C.	Vent du SE, force 1. Mer très belle.
3 mars.	12	40° 20′ S	62° 35′ W	135	5 K.	Vent d'Est, force 2. Petite houle.
4 mars.	16	38° 00′ S	59° 40′ W	115	0	Vent d'ENE, force 1. Mer très belle.
9 avril.	14	29° 30′ S	51° 00′ W	125	1 K.	Vent de SW, force 3.
10 avril.	12	27° 00′ S	49° 30′ W	90	0	Vent d'Est, force 0 à 1.
12 avril.	12	23° 15′ S	46° 00′ W	160	2 K.	Vent d'Est, force 1. Mer très belle.
22 avril.	12	16° 30′ S	40° 30′ W	125	3 CS. K.	Vent d'Ouest, force 1. Mer très belle.

Blank page retained for pagination

ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES

CORRESPONDANT AUX COURBES DES VALEURS DU CHAMP ÉLECTRIQUE

(PLANCHE III A PLANCHE VII)

(La vitesse du vent est exprimée en kilomètres à l'heure.)

ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES CORRESPONDANT AUX COURBES DES VALEURS DU CHAMP ÉLECTRIQUE.

Courbe n° 1. — Du 3 au 4 Mars.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—1.6	—1.1	—0.7	—0.6	—0.6	—0.7	—0.7	—0.9	—1.1	—0.[illegible]	—0.4	—0.1	0.3	0.1	0.5	0.4	1.1	0.8	0.7	0.6	0.7	0.5	0.4	0.[illegible]
Direction et vitesse du vent	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme	SE 1	Calme.	Calme.	SE 5	SE 6	SE 4	SE 6	SE 6	SE 7	SE 5	SSE 14	SSE 10
Nébulosité		9		10		10		10		10		7		7		7		7		7		7		10
Forme des nuages		N.		N.		N.		N.		5		K.		K.		AK.		AK.		AK.		AK.		N.
Phénomènes																								*0

Courbe n° 2. — Du 8 au 9 Mars.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—0.6	—0.7	—0.6	—0.7	—0.9	—0.8	—0.9	—0.8	—0.9	—0.4	—0.6	—0.6	—0.4	0.0	1.1	0.6	0.7	1.7	2.4	1.1	0.4	0.6	0.5	0.1
Direction et vitesse du vent	Calme.	Calme.	Calme.	SE 1	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	NE 1	NE	NE 1	Calme.	Calme.	Calme.	N 10	W 1	W 10	W 3	W 7	WSW 3	Calme.	WSW 10	WSW 9	SW 8
Nébulosité		10		10		10		10		10		10		9		9		9		7		9		10
Forme des nuages		S.		S.		S.		S.		5		SK.		SK.		SK.		SK.		AK.		S.		S.
Phénomènes																								

Courbe n° 3. — Du 6 au 7 Avril.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—4.9	—5.1	—5.0	—3.9	—4.3	—5.1	—5.2	—5.5	—5.4	NNE	—4.1	—3.6	—2.7	—0.8	0.3	1.7	1.4	1.8	2.3	—0.9	—2.7	—2.5	—2.6	—2.6
Direction et vitesse du vent	ENE 1	ENE 1	ENE 1	ENE 1	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	NNE 3	0	NNE 3	NNE 3	NNE 2	NE 1	NE 1	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	NE 2	NE 3	NE 4	NE 6
Nébulosité		5		5		2		1				0		0		1		2		4		5		5
Forme des nuages		CS.		C.CK.		C.CK.										CS.				CK.		CK.		CK.
Phénomènes																								

Courbe n° 4. — Du 19 au 20 Avril.

Heures.	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Température de l'air	—14.2	—13.2	—12.1	—12.0	—12.0	—11.8	—11.9	—12.0	—11.3	ENE	—11.0	—11.3	—11.4	—11.1	—10.7	—10.2	—9.2	—8.4	—7.4	—6.7	—6.1	—5.8	—6.9	—7.7
Direction et vitesse du vent	SE 3	SSE 6	S 19	SE 14	SE 9	SE 7	SE 4	SE 1	SE 2		ENE 2	ENE 2	ENE 2	ENE 4	ENE 3	ENE 4	ENE 2	ENE 3	ENE 4	ENE 3	ENE 2	ENE 1	Calme	NE 5
Nébulosité		2		3		5		8				5		7		9		7		5		5		5
Forme des nuages				AS.				S.				AS.				S.				CS.		CS.		CS.
Phénomènes																								

Courbe n° 5. — Du 27 au 28 Juin.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—7.1	—7.0	—7.0	—7.2	—7.8	—8.2	—8.1	—9.9	—11.1	NNE	—12.7	—12.4	—13.1	—12.9	—12.2	—12.3	—12.2	—10.5	—10.9	—11.6	—12.1	—12.0	—12.0	—12.2
Direction et vitesse du vent	NNE 15	NNE 19	NNE 18	NNE 15	NNE 5	NNE 15	NNE 10	NNE 5	Calme.	0	NNE 3	NNE 7	Calme.	Calme.	NNE 3	Calme.	S 10	S 17	S 15	Calme.	Calme.	Calme.	NE 10	NE 11
Nébulosité		8		7		4		0				0		0		0		0		0		1		2
Forme des nuages		SK.		SK.CS.		CS.CK.																CS.		CS.
Phénomènes				3																				

ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES CORRESPONDANT AUX COURBES DES VALEURS DU CHAMP ÉLECTRIQUE (*Suite*).

Courbe n° 6. — Du 26 au 27 Octobre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
Température de l'air	—3.2	—3.6	—3.7	—3.8	—4.1	—4.3	—4.6	—4.9	—4.7	—4.1
Direction et vitesse du vent	ENE 1	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme	Calme.	Calme
Nébulosité		10		10		10		10		10
Forme des nuages		N.		N.		AS.S.		AS.		AS.S.
Phénomènes		✳0 ≡0								

Heures.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—3.0	—2.9	—2.5	0.4	2.0	1.8	2.6	3.2	3.1	1.0	0.1	0.0	—0.5	—1.9
Direction et vitesse du vent	Calme.	SW 5	SW 1	Calme.	Calme.	NW 1	NW 4	NNW 5	NNW 2	NNW 4	N 3	NNW 2	NNW 1	Calme.
Nébulosité		9		6		9		10		10		10		10
Forme des nuages		S.		AK.		AK.		AK.		SK.		S.		S.
Phénomènes														

Courbe n° 7. — Du 14 au 15 Novembre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
Température de l'air	—7.6	—8.9	—8.8	—8.6	—9.0	—10.4	—10.9	—9.6	—7.3	—4.1
Direction et vitesse du vent	S 4	S 4	S 5	S 2	S 2	S 3	S 2	S 3	SSE 8	SE 1
Nébulosité		3		6		5		1		
Forme des nuages		AK.		CS.AS.		CS.AK		CS.		
Phénomènes										

Heures.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—4.7	—4.6	—2.5	0.6	1.3	2.6	3.4	3.5	2.1	0.5	0.4	0.2	—1.2	—3.6
Direction et vitesse du vent	SE 4	WSW 4	WSW 1	NNW 5	NW 11	N 9	N 7	N 6	NNE 12	NNE 11	NNW 8	NW 9	NW 9	NW 3
Nébulosité		1		7		7		8		5		2		10
Forme des nuages		C.		CS.		C.		CS.		CS.CK.		C.		S.
Phénomènes				⊕				⊕						

Courbe n° 8. — Du 11 au 12 Septembre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
Température de l'air	—14.9	—14.5	—15.1	—14.2	—15.1	—15.6	—16.6	—16.0	—16.1	—16.1
Direction et vitesse du vent	Calme.	SSE 3	E 2	W 4	Calme.	Calme.	WSW 3	Calme.	Calme.	Calme
Nébulosité		0		0		0		4		5
Forme des nuages								S.		S.
Phénomènes								V		V

Heures.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—15.9	—17.0	—16.6	—14.5	—12.2	—12.4	—11.5	—13.1	—13.5	—13.8	—14.5	—14.8	—17.2	—17.1
Direction et vitesse du vent	Calme.	Calme.	Calme.	W 2	Calme.	W 2	SW 7	SW 14	SW 7	SSW 15	S 16	S 13	SSW 7	SSW 2
Nébulosité		2		2		5		9		8		2		2
Forme des nuages		≡		CK.S.		CK.K.		AS.S.		AS.		S.		S.
Phénomènes														

Courbe n° 9. — Du 13 au 14 Novembre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
Température de l'air	—7.4	—9.7	—10.5	—12.0	—13.4	—14.4	—14.3	—14.3	—11.1	—8.1
Direction et vitesse du vent	S 8	S 4	S 4	S 4	S 4	S 4	S 3	SE 5	SW 4	NE 1
Nébulosité		0		2		1		0		CS.
Forme des nuages				K.		CS.				V
Phénomènes								V		

Heures.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—8.0	—7.3	—6.8	—5.8	—3.0	—0.8	—1.5	—1.5	—2.8	—3.1	—2.6	—4.3	—6.1	—6.7
Direction et vitesse du vent	SW 4	W 3	W 3	SE 4	SE 2	W 4	W 4	SW 3	S 3	S 4	S 2	SSW 5	SSW 7	S 6
Nébulosité		1		2		4		9		7		7		7
Forme des nuages		C.		C.		C.		AK.		C.AK.		C.CS.AS		C.AS.
Phénomènes														

Courbe n° 10. — Du 17 au 18 Novembre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
Température de l'air	—3.9	—4.2	—4.5	—5.0	—5.1	—6.0	—7.0	—8.0	—7.9	—6.1
Direction et vitesse du vent	S 1	ENE 2	NE 9	NE 9	N 5	N 2	N 4	N 2	N 1	N 10
Nébulosité		7		2		1		10		≡
Forme des nuages		S.		S.		CS.		≡²V		≡
Phénomènes				≡		≡				

Heures.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—3.7	—1.0	—0.7	0.0	2.2	0.2	1.0	0.0	0.3	—0.5	—0.5	—0.9	—2.8	—3.8
Direction et vitesse du vent	NE 7	NE 10	NE 3	NE 1	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	WSW 5	WSW 10
Nébulosité		2		10		10		6		4		9		10
Forme des nuages		≡²V		S.		S.		CS.S.		S.		S.		S.
Phénomènes				≡²→0		≡¹								

ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES CORRESPONDANT AUX COURBES DES VALEURS DU CHAMP ÉLECTRIQUE (Suite).

Courbe n° 11. — Du 1er au 2 Juillet.

Heures.	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Température de l'air	—16.7	—15.4	—16.0	—15.1	—15.6	—16.1	—16.4	—15.7	—16.4	—16.6	—14.9	—14.5	—14.0	—12.5	—12.0	—11.7	—11.3	—11.1	—9.4	—9.1	—9.8	—10.2	—10.1	—10.1
Direction et vitesse du vent	NE 7	NE 7	NE 5	NE 3	NE 2	NE 3	ESE 7	ESE 3	ESE 1	ESE	ESE 7	ESE 3	ESE 4	SE 8	SE 1	SE 5	Calme.	SE 5	S 12	SW 15	S 8	S 5	SSW 5	SSW 8
Nébulosité	0		1		1		4		7		7		7		10		10		10		10		10	
Forme des nuages			C.		C.CS.		C.		C.CS.		C.CS.		CS.AK.		AK.S.		N.		N.		N.		S.	
Phénomènes									θ		θ		ϑ θ						*0		*0			

Courbe n° 12. — Du 26 au 27 Juin.

Heures.	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Température de l'air	—3.9	—3.9	—4.0	—4.1	—4.3	—4.5	—4.4	—4.4	—4.7	—4.8	—4.8	—4.8	—4.8	—4.9	—4.9	—5.2	—5.5	—5.5	—5.7	—5.9	—6.2	—6.2	—6.6	—6.8
Direction et vitesse du vent	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	N	N	NNE 10	NNE 10	NNE 14	NNE 16	NNE 16	NNE 15	NNE 15	NNE 15	NNE 16	NNE 14	NNE 13	NNE 14	NNE 14	NE 11
Nébulosité	10		9		10		10		10		10		10		8		7		4		1		•3	
Forme des nuages	AK. S.		N.		N.		N.		N.S.		N.		N.		AS.N.		AS.N.		AS.SK.		S.		S.	
Phénomènes	≡		*1 ≡		*2 ≡0		*1 ≡		≡1		≡1		*0 ≡1		*0									

Courbe n° 13. — Du 24 au 25 Octobre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	0.6	1.0	0.5	0.2	—0.6	—1.2	—1.7	—1.8	—1.8	—1.1	—1.1	—1.1	—0.6	0.1	0.7	—0.1	0.1	—0.1	0.3	1.7	0.2	—0.2	—0.9	—1.5
Direction et vitesse du vent	S 8	N 27	N 11	SE 6	WSW 7	WSW 5	SW 9	SW 7	SW 6	WSW	W 2	W 2	NNW 13	NNW 5	N 17	NNE 14	NNE 11	NNE 18	N 6	N 2	N 3	N 3	NNW 6	NNW 3
Nébulosité		9		9		10		10		10		10		10		10		10		10		10		10
Forme des nuages		S.		AK.SK.		AS.		AS.S.N.		N.		N.		N.		N.		N.		S.		N.		N.
Phénomènes								*0		*0		*2 ≡2		*2 ≡2		*2 ≡		*1 ≡				*≡		*1 ≡2

Courbe n° 14. — Du 25 au 26 Octobre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—2.7	—2.9	—2.8	—2.9	—3.1	—3.1	—3.3	—3.6	—3.7	—3.7	—2.4	—1.8	—0.6	—1.2	0.0	0.8	0.2	0.0	1.6	0.0	—0.8	—1.7	—2.1	—3.0
Direction et vitesse du vent	NW 7	NW 6	NW 12	NNW 13	N 23	NNE 22	N 15	N 15	N 7	N	NE 2	NE 1	Calme.	Calme.	Calme.	Calme.	NE 2	Calme.	Calme.	NE 1	NE 2	Calme.	Calme.	Calme.
Nébulosité		10		10		10		10		10		5		9		10		10		9		9		10
Forme des nuages		N.		N.		N.		S.		S.		C.S.		CS.N.		N.		N.		S.N.		S.		N.
Phénomènes		*1 ≡		*0		*0										△1 ≡1		*0 ≡1		*0 ≡1		≡0		*1 ≡1

Courbe n° 15. — Du 2 au 3 Juillet.

Heures.	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Température de l'air	—9.2	—8.4	—6.6	—3.8	—3.7	—3.7	—4.0	—3.8	—3.8	—3.7	—2.3	—1.8	—1.9	—1.6	—1.5	—1.0	—0.6	—0.9	—2.3	—2.8	—3.8	—3.7	—3.7	—3.7
Direction et vitesse du vent	S 5	SW 10	NNE 15	NNE 40	NNE 34	NNE 34	NNE 33	NE 40	NNE 40	N	NE 36	NNE 38	NE 49	NE 58	NE 58	NE 64	NE 48	SSW 10	S 15	S 15	S 10	SSE 10	SSE 10	S 25
Nébulosité	10		10		9		9		10		10		10		10		10		10		10		10	
Forme des nuages	S.		N.		SK.N.		AS.S.		S.		S.		S.		N.		AS.N.		N.S.		N.S.		S.	
Phénomènes			*0 ≡1																					

ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES CORRESPONDANT AUX COURBES DES VALEURS DU CHAMP ÉLECTRIQUE (*Suite*).

Courbe n° 16. — Du 30 au 31 Août.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—6.8	—5.9	—.7	—5.6	—4.9	—4.6	—4.2	—4.2	—3.9	—3.5	—4.3	—3.6	—4.0	—4.1	—4.4	—4.0	—4.2	—4.0	—3.9	—4.8	—4.6	—4.4	—4.8
Direction et vitesse du vent	NNE 26	NNE 26	NNE 30	NNE 33	NE 34	NE 39	NNE 41	NNE 43	NNE 44	NNE 43	N 32	N 26	N 24	NNE 31	NNW 25	N 20	N 12	N 2	N 2	SE 4	S 8	SSW 20	SSW 23
Nébulosité		10		10		10		10			9		8		9		10		10		10	10		7
Forme des nuages		AS.				AS.		N.			AK.S.		AK.S.		S.		S.N.		S.		AK.S.		S.
Phénomènes								✳⁰									∽⁰ ▭⁰		▭⁰		∽⁰ ▭¹		

Courbe n° 17. — Du 18 au 19 Septembre.

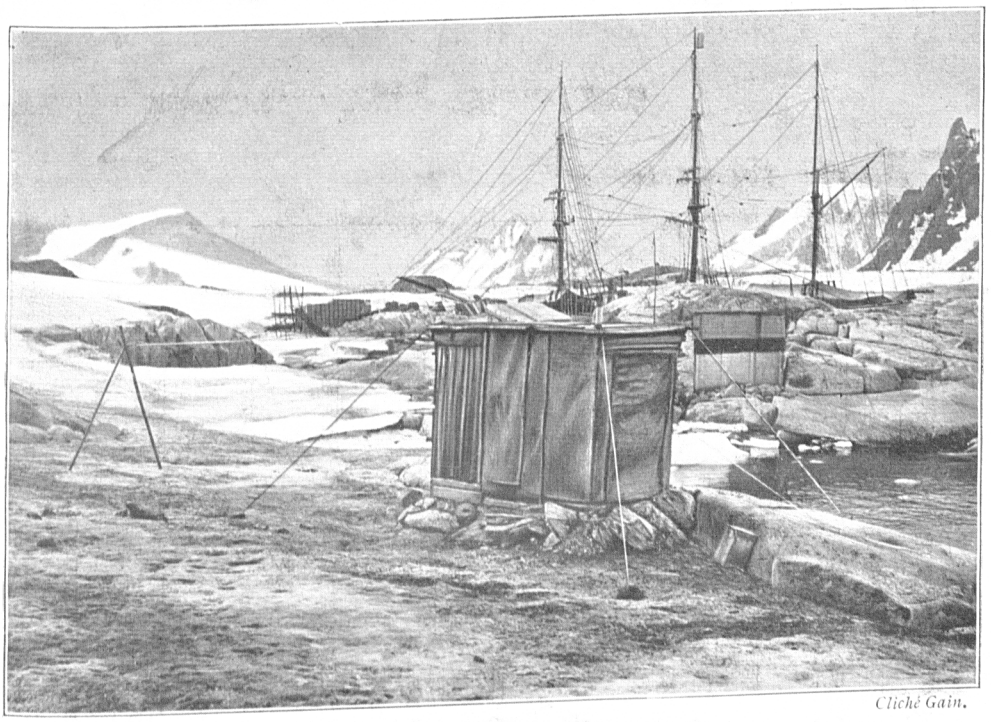
Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—4.3	—3.0	—3.0	—2.0	1.8	3.3	3.5	3.7	3.8	3.4	3.2	3.3	3.6	3.5	3.7	2.5	2.5	2.3	2.3	1.5	0.6	0.3	0.0
Direction et vitesse du vent	SW 9	WSW 9	SW 9	SW 10	NE 36	NE 63	NE 60	NE 65	NE 57	NE 51	NE 43	NE 41	NE 45	NE 54	NNE 47	NNE 41	NNE 40	NNE 25	WSW 8	W 7	W 1	Calme.	Calme.
Nébulosité		9		10		10		10			10		10		10		10		10		10		10
Forme des nuages		S.		AS.N.		AS.		AS.N.			S.		S.N.		S.		S.		S.		S.		N.
Phénomènes													●⁰		▭⁰						✳⁰ ▭⁰		▲⁰ ▭¹

Courbe n° 18. — Du 23 au 24 Septembre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	3.6	3.3	3.0	2.1	1.8	1.7	1.4	1.1	0.8	1.0	1.1	1.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.7	0.9	1.2
Direction et vitesse du vent	NNE 54	NE 70	NE 83	NE 84	NE 78	NE 81	NE 74	NE 76	NE 70	NE 72	NE 67	NE 60	NNE 57	NNE 59	NNE 53	NNE 52	NNE 41	NNE 40	NNE 40	NNE 40	NNE 50	NNE 64	NNE 69
Nébulosité		10		10		10		10			10		10		10		10		10		10		10
Forme des nuages		N.		N.		N.		N.			N.		N		N.		N.		N		N.		N
Phénomènes		●⁰ ▭		●		●		✳			✳² ▭¹		✳² ▭¹		✳² ▭²		● ▭²		✳² ▭²		✳² ▭²		✳¹ ▭¹

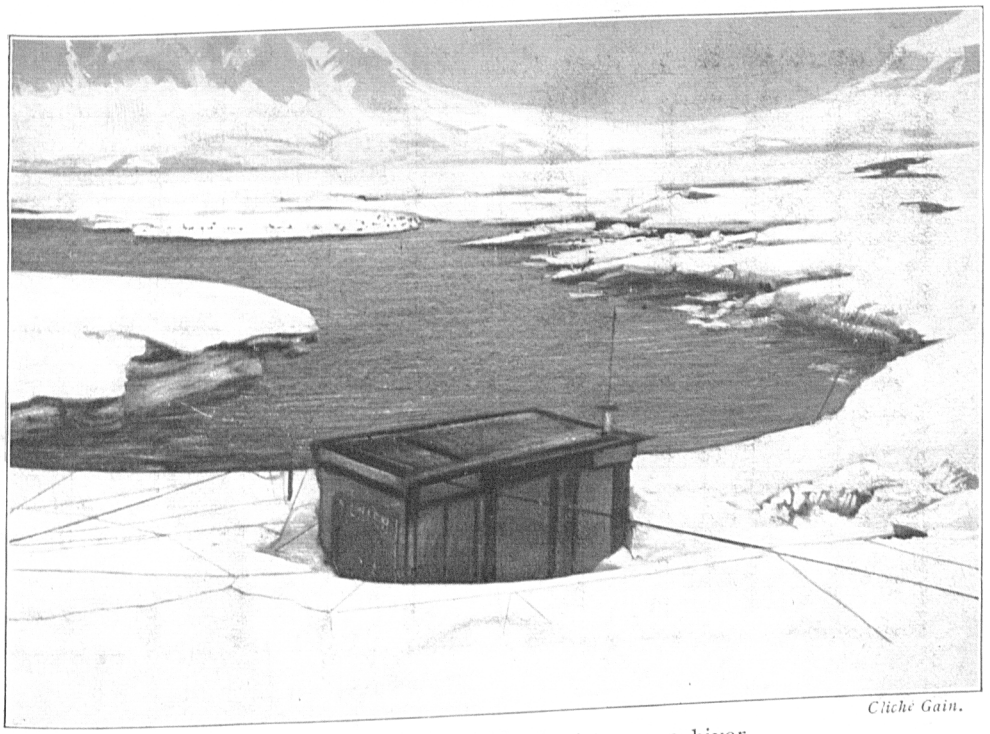
Courbe n° 19. — Du 27 au 28 Septembre.

Heures.	21	22	23	24	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Température de l'air	—5.2	—6.6	—7.8	—7.9	—7.5	—7.4	—9.5	—11.2	—11.6	—10.9	—10.3	—10.1	—9.4	—8.8	—8.2	—7.6	—6.9	—6.4	—6.0	—7.5	—7.4	—10.0	—10.4
Direction et vitesse du vent	SSW 15	S 7	S 3	S 3	S 17	SW 40	SW 40	SW 39	SW 30	S 19	S 24	SE 22	SSE 17	SE 29	SE 19	SE 18	ESE 14	E 9	N 12	N 9	NE 4	E 5	SE 5
Nébulosité		2		8		10		10			10		10		10		10		10		4		9
Forme des nuages		AS.		CS.AS.		AS.		S.			S.		S.		AS.		S.		SK.		CK.S.		AK.
Phénomènes				☽		✢		✢			▭⁰		▭⁰										



Cliché Gain.

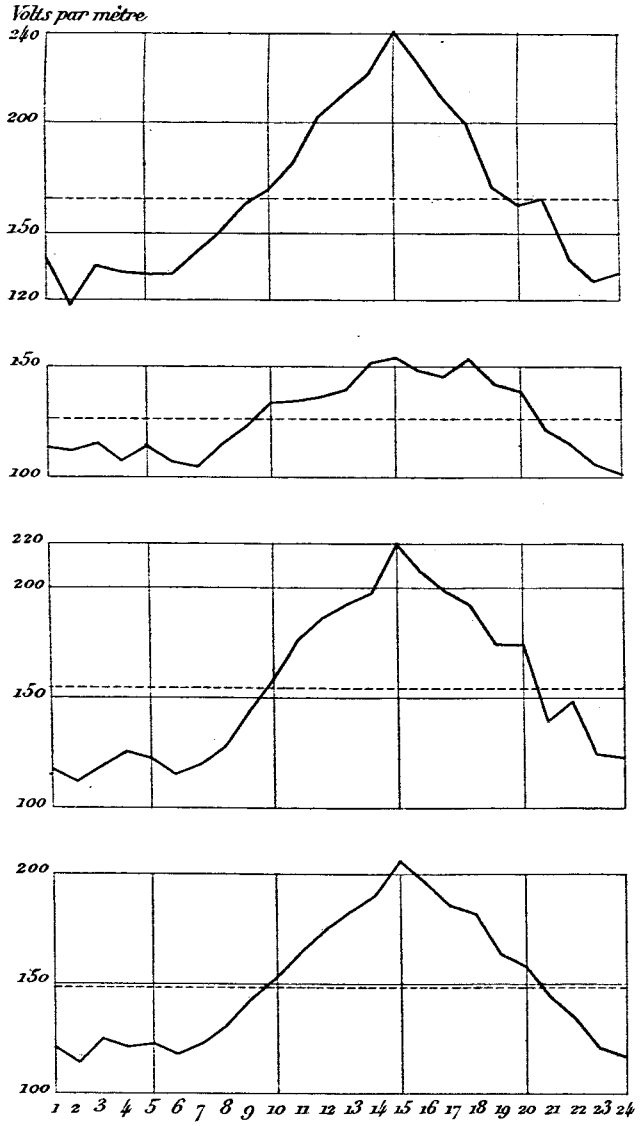
Cabane de l'Électromètre enregistreur en été.



Cliché Gain.

Cabane de l'Électromètre enregistreur en hiver.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS



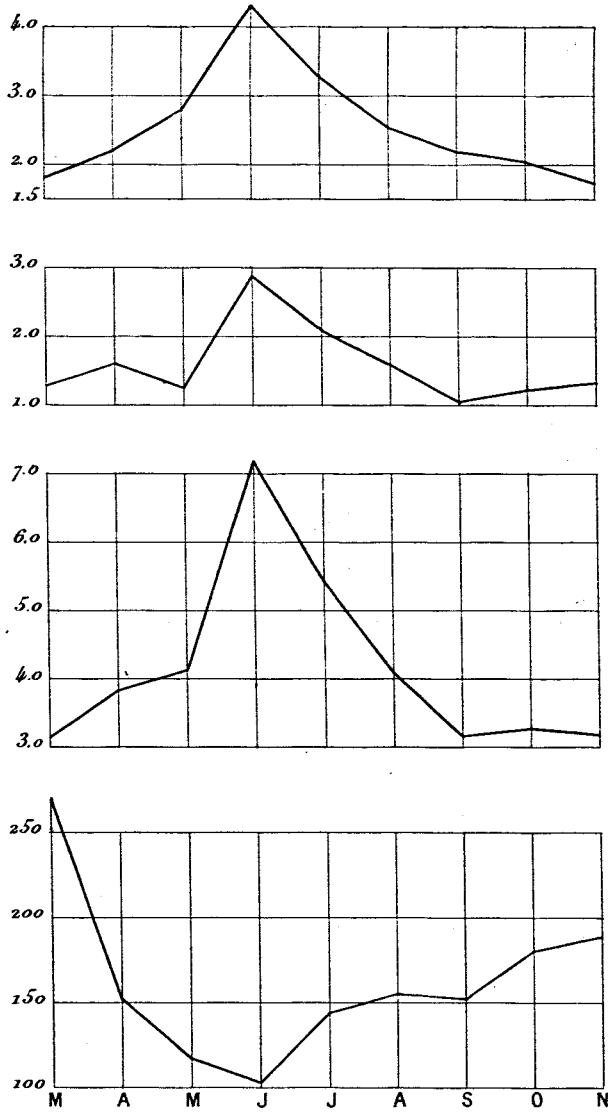
Automne (Mars-Mai). Valeur moyenne : 167 volts 2.

Hiver (Juin-Août). Valeur moyenne 127 volts 0.

Printemps (Septembre-Novembre). Valeur moyenne: 154 volts 9.

Moyenne générale 9 mois 149 volts.

Variation diurne du Champ Électrique dans les conditions normales.



λp Conductibilité de l'air pour une charge négative.

λn Conductibilité de l'air pour une charge positive.

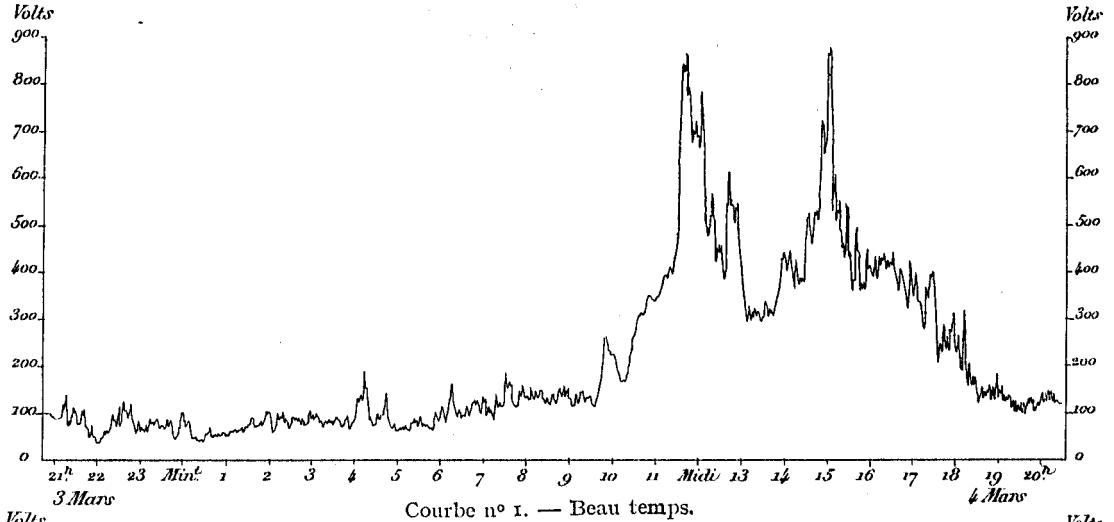
λ Conductibilité totale de l'air.

Champ électrique correspondant.

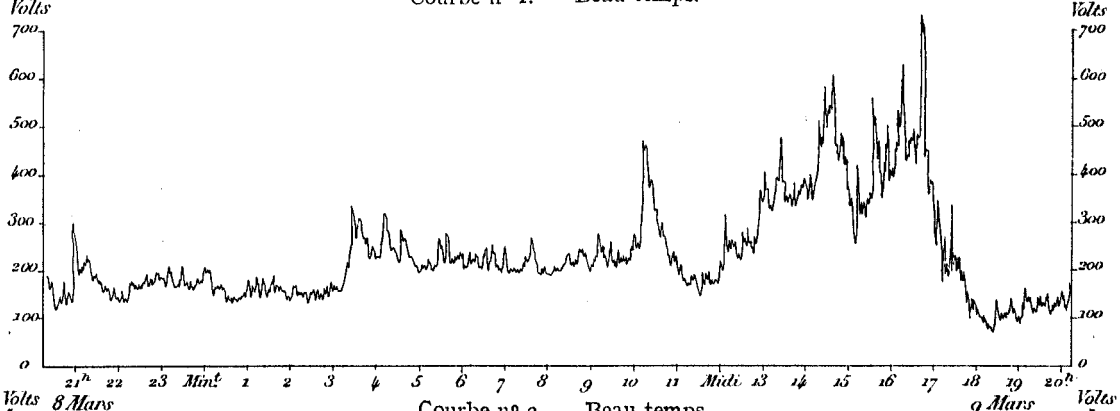
Variation annuelle de la conductibilité de l'Air.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

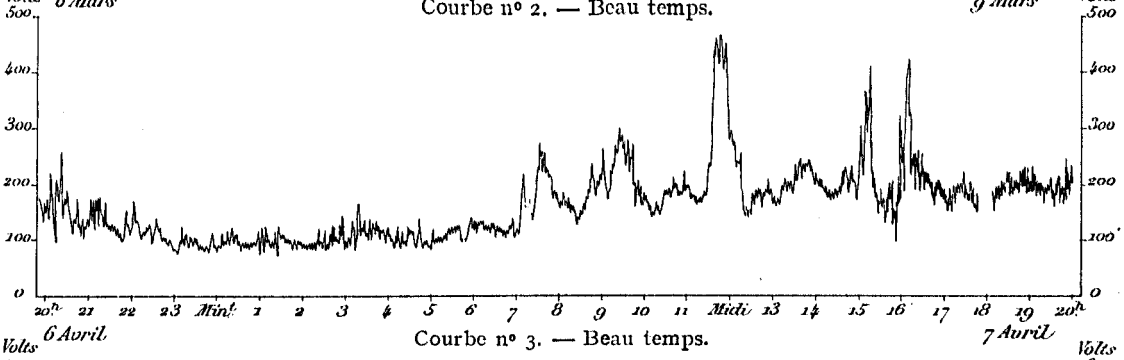
Types de courbes des valeur du Champ Électrique de l'atmosphère.



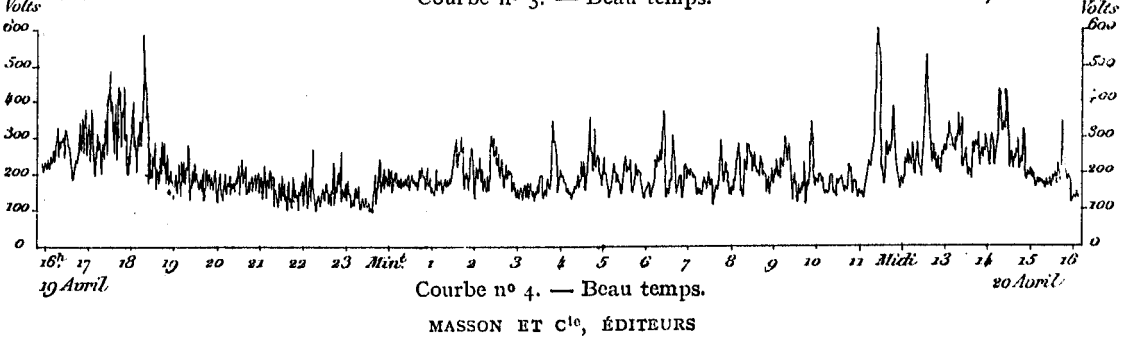
Courbe n° 1. — Beau temps.



Courbe n° 2. — Beau temps.



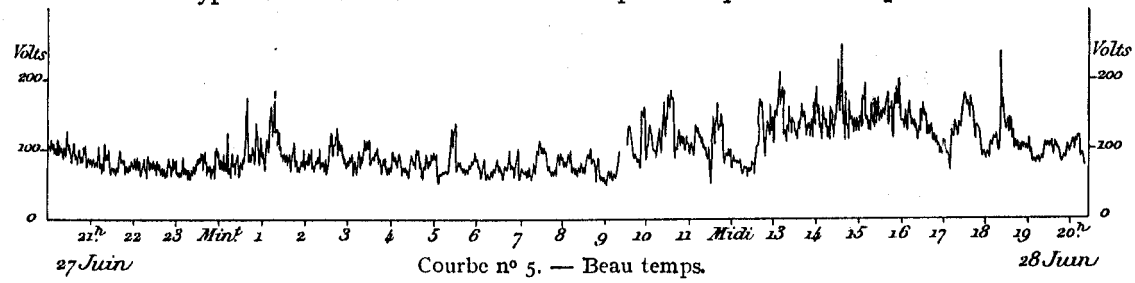
Courbe n° 3. — Beau temps.



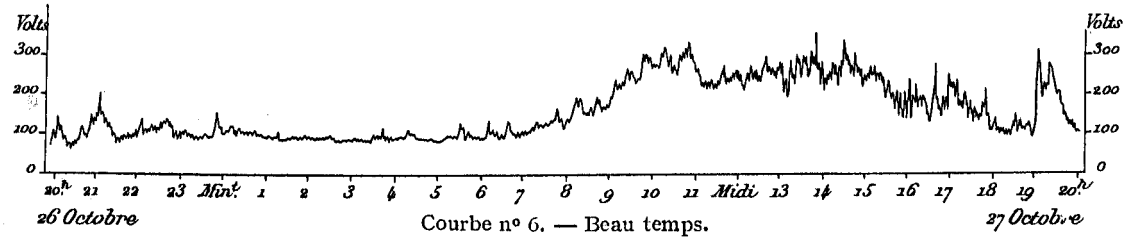
Courbe n° 4. — Beau temps.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

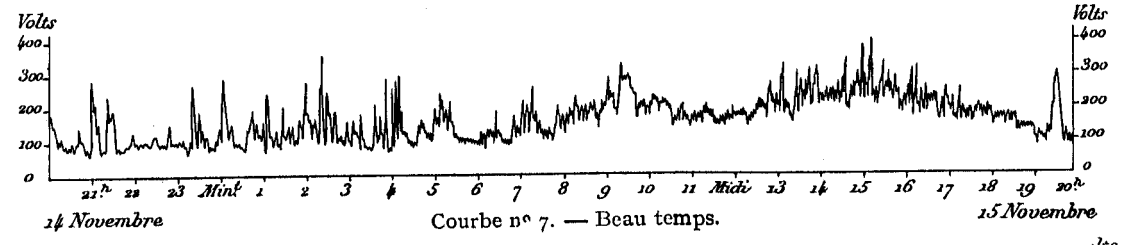
Types de courbes des valeurs du Champ Électrique de l'atmosphère.



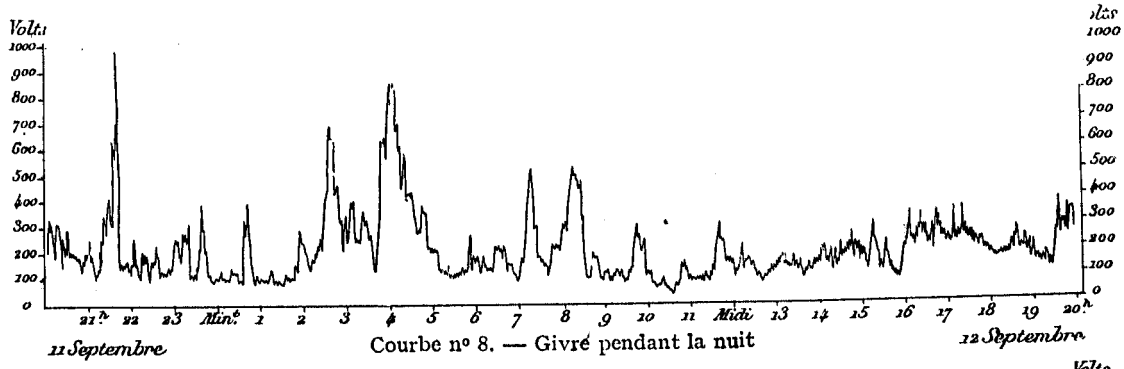
Courbe n° 5. — Beau temps.



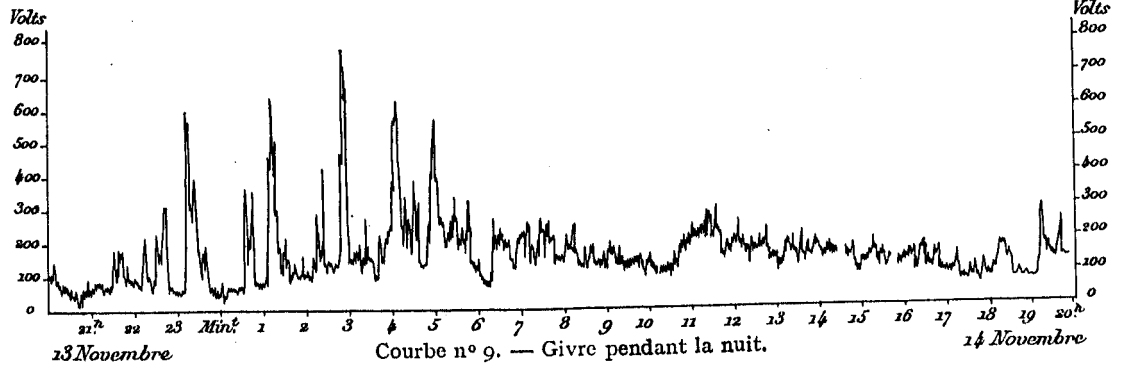
Courbe n° 6. — Beau temps.



Courbe n° 7. — Beau temps.



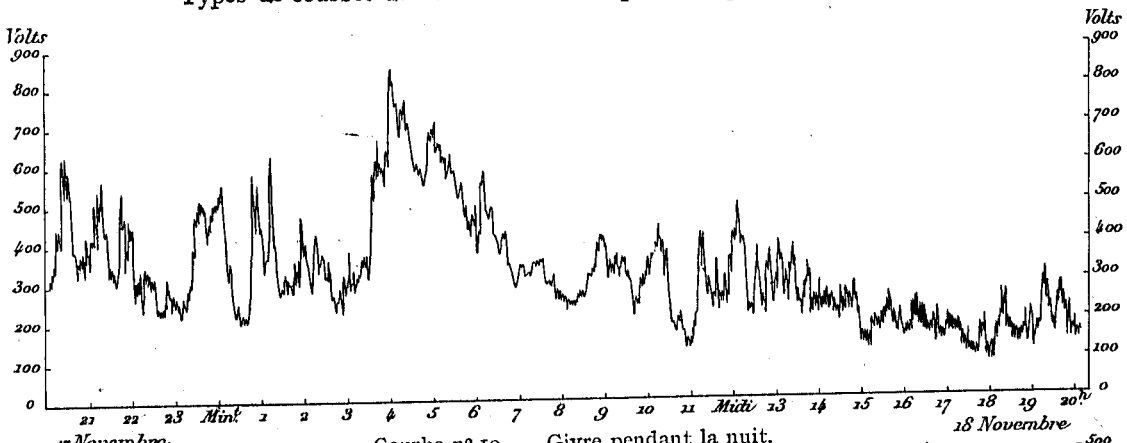
Courbe n° 8. — Givré pendant la nuit



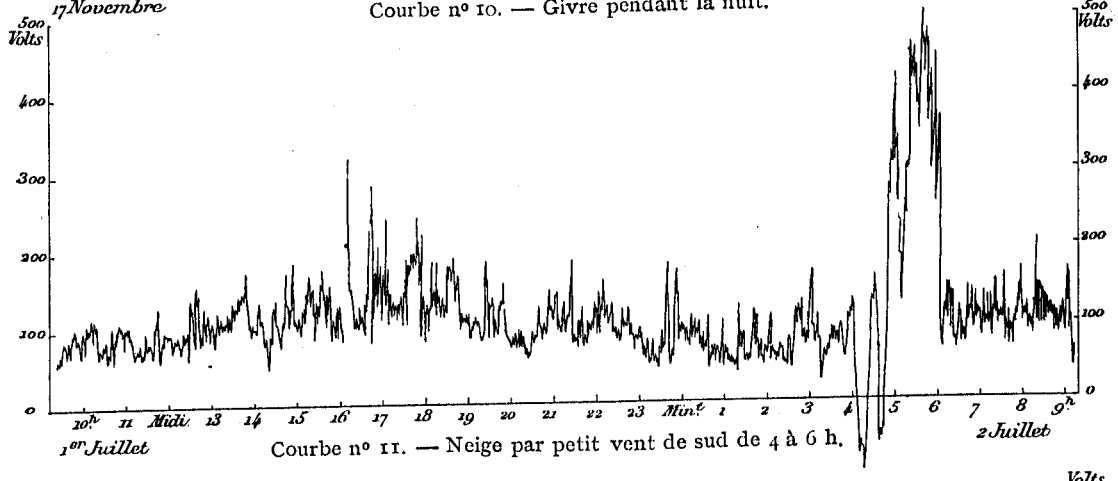
Courbe n° 9. — Givre pendant la nuit.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

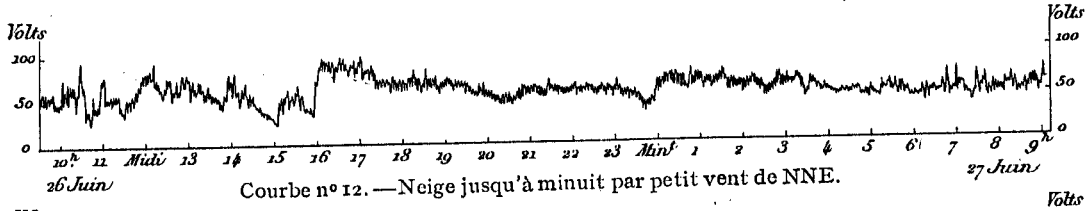
Types de courbes des valeurs du Champ Électrique de l'atmosphère.



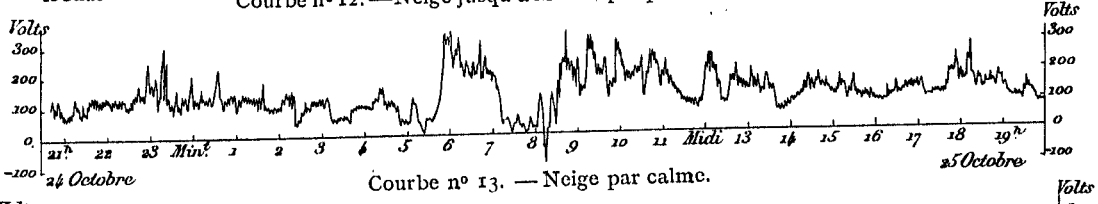
Courbe nº 10. — Givre pendant la nuit.



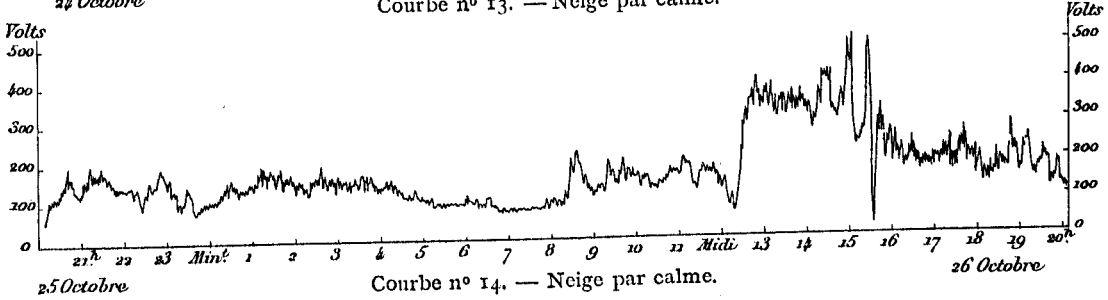
Courbe nº 11. — Neige par petit vent de sud de 4 à 6 h.



Courbe nº 12. — Neige jusqu'à minuit par petit vent de NNE.



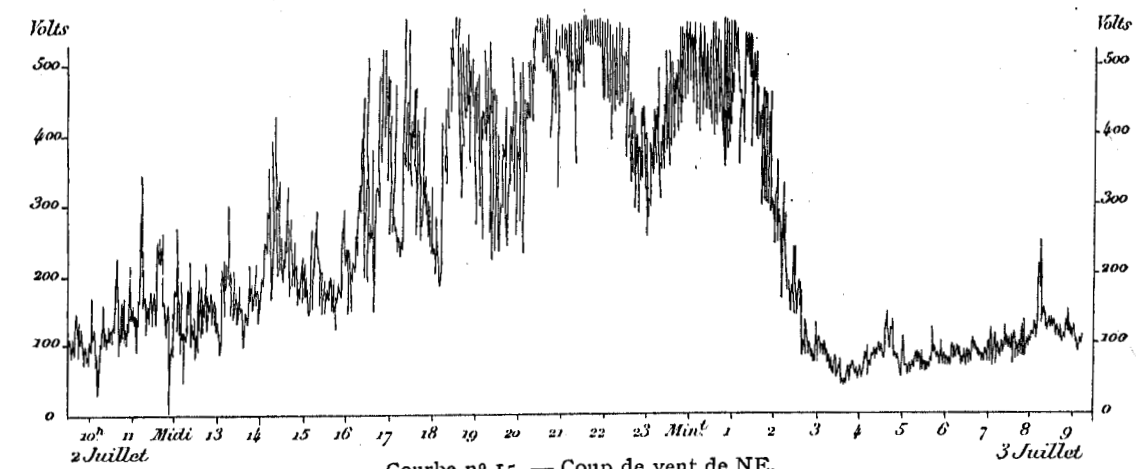
Courbe nº 13. — Neige par calme.



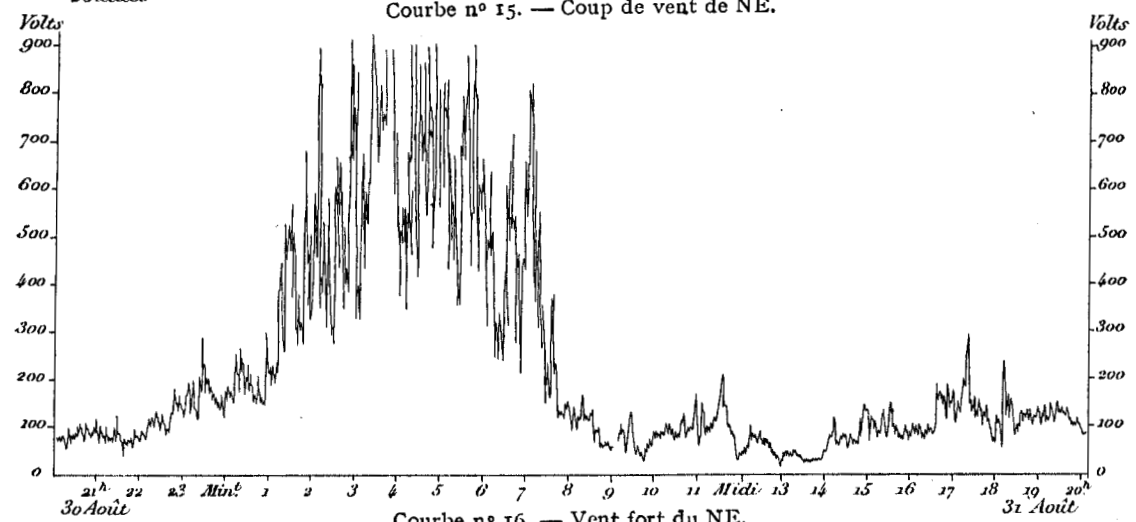
Courbe nº 14. — Neige par calme.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

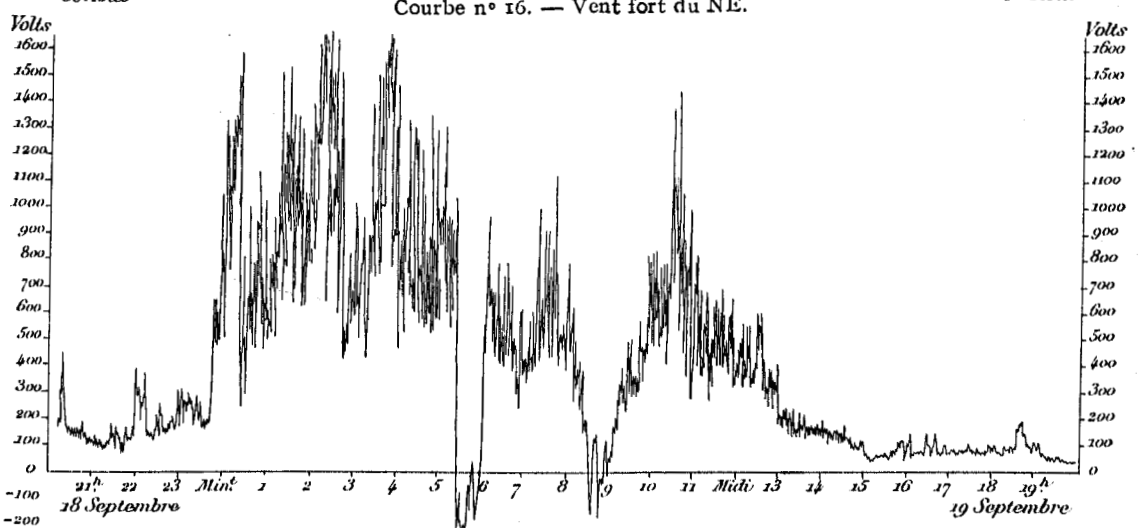
Types de courbes des valeurs du Champ Électrique de l'atmosphère.



Courbe n° 15. — Coup de vent de NE.



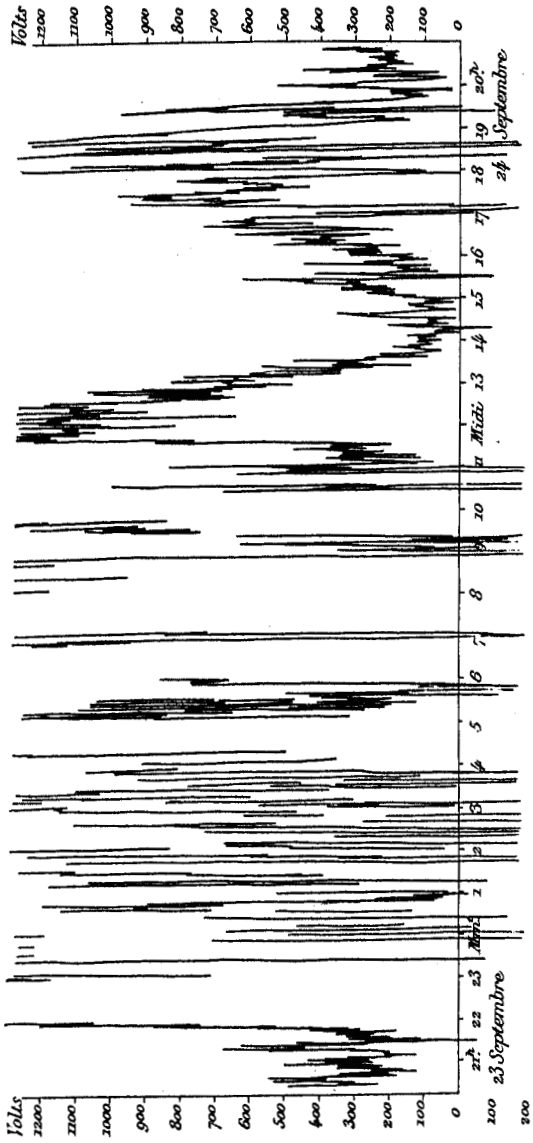
Courbe n° 16. — Vent fort du NE.



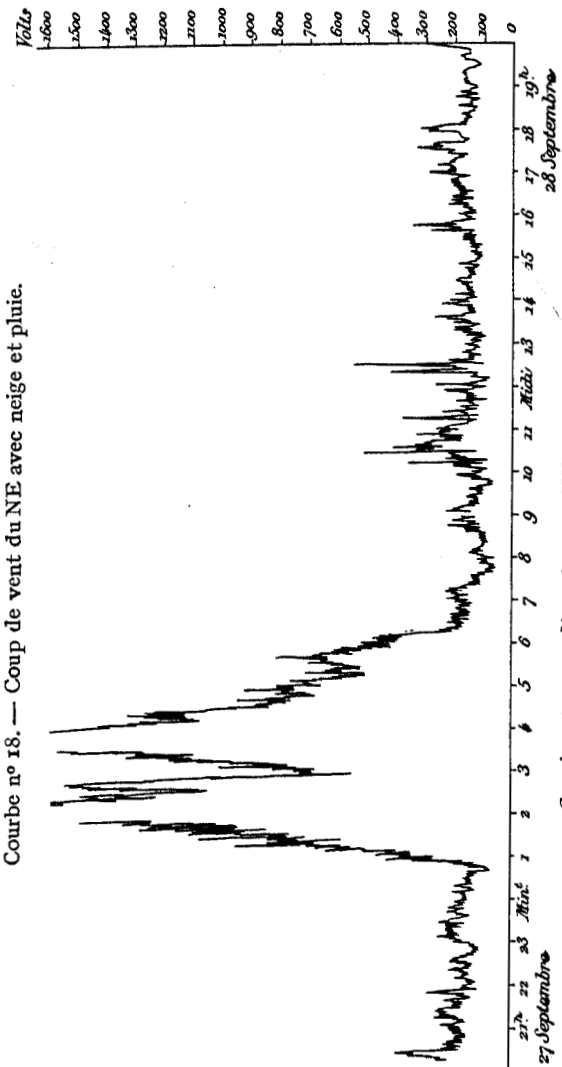
Courbe n° 17. — Coup de vent de NE.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

Types de courbes des valeurs du Champ Électrique de l'atmosphère.



Courbe n° 18. — Coup de vent du NE avec neige et pluie.



Courbe n° 19. — Vent fort du SW et chasse-neige.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

DEUXIÈME EXPÉDITION ANTARCTIQUE FRANÇAISE
(1908-1910)

Fascicules publiés

CARTES..... Onze cartes en couleurs dressées par M. Bongrain et R.-E. Godfroy, pliées et réunies..... 34 *fr.*

RHIZOPODES D'EAU DOUCE, par E. Pénard.
1 fascicule de 16 pages..... 2 *fr.*

ÉCHINODERMES... ***Astéries, Ophiures et Échinides,*** par R. Koehler.
1 fascicule de 270 pages (16 planches doubles). 34 *fr.*

VERS..... ***Polyclades et Triclades maricoles,*** par P. Hallez ; ***Ptérobranches,*** par Ch. Gravier ; ***Chétognathes,*** par L. Germain ; ***Rotifères,*** par P. de Beauchamp.
1 fascicule de 116 pages (9 planches)..... 15 *fr.*

Annélides Polychètes, par Ch. Gravier.
1 fascicule de 165 pages (12 planches)..... 24 *fr.*

CRUSTACÉS ..... ***Crustacés isopodes,*** par H. Richardson ; ***Crustacés parasites,*** par Ch. Gravier ; ***Amphipodes,*** par Ed. Chevreux ; ***Mallophaga et ixodidœ,*** par L.-G. Neumann ; ***Collemboles,*** par Ivanof.
1 fascicule de 204 pages..... 16 *fr.*

PYCNOGONIDES ... Par E.-L. Bouvier ; ***Ostracodes marins,*** par E. Daday de Dées ; ***Phyllopodes anostracés,*** par E. Daday de Dées ; ***Infusoires nouveaux,*** par E. Daday de Dées ; ***Copépodes parasites,*** par A. Quidor ; ***Diptères,*** par Keilin.
1 fascicule de 232 pages avec fig. (6 planches). 13 *fr.*

MOLLUSQUES..... ***Gastropodes prosobranches, Scaphopodes et Pélécypodes,*** par Ed. Lamy ; ***Amphineures,*** par Joh. Thiele.
1 fascicule de 84 pages (1 planche)..... 4 *fr.*

POISSONS..... Par L. Roule, avec la collaboration de MM. Angel et R. Despax.
1 fascicule de 32 pages (4 planches en noir et en couleurs)..... 8 *fr.*

BOTANIQUE..... ***Flore algologique antarctique et subantarctique,*** par L. Gain.
1 fascicule de 218 pages (8 planches)..... 24 *fr.*

Révision des Mélobésiées antarctiques, par Mlle Paul Lemoine.
1 fascicule de 72 pages (2 planches)..... 7 *fr.*

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES, par J. Rouch.
1 fascicule de 260 pages (16 planches)..... 34 *fr.*

ÉTUDE SUR LES MARÉES, par R.-E. Godfroy.
1 fascicule de 74 pages (11 planches)..... 16 *fr.*

OBSERVATIONS D'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE, par J. Rouch.
1 fascicule de 40 pages (7 planches)..... 9 *fr.*

OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE, par J. Rouch.
1 fascicule de 46 pages (2 planches)..... 8 *fr.*

EAUX MÉTÉORIQUES, SOL ET ATMOSPHÈRE, par A. Muntz et E. Lainé.
1 fascicule de 47 pages avec figures..... 6 *fr.*