

JAN 2000

National Oceanic &
Atmospheric Administration
U.S. Dept. of Commerce

RECHERCHES SUR L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

SECOND MÉMOIRE.

ÉTUDE DE LA VARIATION DIURNE

DE

L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE,

PAR M. A.-B. CHAUVEAU.

AVANT-PROPOS.

Le but de ce Travail est de mettre en évidence une loi nouvelle de la variation diurne de l'électricité atmosphérique, que nous croyons être la loi véritable, indépendante de tout effet perturbateur et telle qu'elle doit résulter immédiatement de la cause générale, encore inconnue, des phénomènes électriques de l'atmosphère. Si ce but est atteint, c'est un fait nouveau ajouté au petit nombre de ceux que l'on peut considérer comme bien établis en Météorologie électrique. Dans un champ d'investigation si souvent stérile nous n'avions pas à ambitionner d'autre résultat.

On a toujours admis jusqu'ici que la variation diurne du potentiel en un point de l'atmosphère est à double oscillation, analogue, par conséquent, à la variation diurne barométrique et présentant, comme elle, deux maxima, l'un le matin, l'autre le soir, séparés par deux minima, le premier vers le milieu du jour, le second dans les dernières heures de la nuit.

Nous croyons avoir démontré que l'oscillation électrique est simple, comme l'oscillation thermique, avec un maximum pendant le jour et un minimum remarquablement constant vers 4^h du matin.

QC
989
.F8
A56
année
1900
pt. 2

National Oceanic and Atmospheric Administration

Environmental Data Rescue Program

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 document has been imaged through the NOAA Environmental Data Rescue Program. To view the original document, please contact the NOAA Central Library in Silver Spring, MD at (301) 713-2607 x124 or www.reference@nodc.noaa.gov.

Information Manufacturing Corporation
Imaging Subcontractor
Rocket Center, West Virginia
September 14, 1999

C'est, en effet, vers cette forme simple que tendent les résultats des observations, soit quand on s'éloigne du sol, soit, le point exploré restant fixe, quand la température moyenne diminue, et l'oscillation double généralement admise nous paraît uniquement résulter de l'intervention de causes perturbatrices provenant du voisinage du sol et d'autant plus sensibles que la température moyenne — ou plutôt l'intensité de l'un des phénomènes concomitants : radiation solaire, évaporation, mouvements ascendants de l'air — est plus considérable.

Nous aurions pu formuler cette conclusion dès le début de nos recherches. La comparaison des mesures faites simultanément au sommet de la Tour Eiffel et au Bureau Central nous l'avait immédiatement indiquée. Mais une loi météorologique ne saurait être établie sur une année ou même sur un petit nombre d'années d'observations et nous avons attendu, avant d'énoncer un résultat depuis longtemps probable, de pouvoir l'appuyer sur l'ensemble de données que nous estimions nécessaire.

Il nous fallait, en outre, nettement établir cette influence du voisinage du sol qui n'avait pas encore été signalée et qui paraît intervenir, dans les mesures du champ, comme le voisinage d'un mur ensoleillé intervient dans les indications d'un thermomètre. L'importance du fait, au seul point de vue pratique, est considérable, puisqu'il impose, si l'on veut avoir des mesures à peu près comparables, une uniformité absolue dans les conditions d'installation des appareils d'Observatoire. Cette opinion, soutenue autrefois par M. Røiti à la Conférence internationale des Électriciens, en 1884, fut alors combattue et finalement repoussée par la Commission compétente. On jugera peut-être qu'elle échappe aujourd'hui à toute discussion.

La première Partie de ce Mémoire est consacrée à la description des appareils et des procédés d'observation. Nous avons été conduit, par une expérience de plusieurs années, à divers perfectionnements qu'il nous a paru bon de faire connaître, en raison de leur intérêt pratique. C'est ainsi que les observateurs qui, pour des mesures continues, ont à employer l'électromètre symétrique de M. Mascart sous sa forme habituelle, ne seront pas indifférents à l'indication d'un procédé simple permettant de faire disparaître un inconvénient capital : le déplacement du zéro. De même, en assurant au point exploré une position fixe par la réalisation d'un collecteur à écoulement constant muni de fins ajutages à jets multiples, nous avons apporté à l'appareil ordinaire une amélioration indispensable à la précision des mesures.

Nous avons fait uniquement usage d'appareils à enregistrement continu. Pour

aucun autre phénomène météorologique l'emploi de ce procédé d'observation n'est aussi nécessaire, et c'est avec un étonnement profond que nous le voyons à peu près complètement délaissé en Allemagne, où l'étude de l'Électricité atmosphérique paraît, aujourd'hui, intéresser beaucoup plus qu'ailleurs les météorologistes et les physiciens. L'examen des courbes d'enregistreur, par les variations étendues et rapides qu'il permet de constater dans la grandeur du champ, devrait suffire à enlever toute valeur, en tant que mesures précises, aux observations discontinues dont les résultats, à dix minutes d'intervalle, varient parfois du simple au double et qui, dans les conditions les plus favorables, ne peuvent donner que de lointaines approximations. Quoi qu'il en soit, il nous paraît indispensable de les éliminer absolument de toute recherche sur la variation diurne.

Dans un Chapitre spécial, nous avons décrit le procédé qui, par l'emploi de petits condensateurs en cascade, nous a permis d'utiliser l'électromètre à quadrants pour la mesure des potentiels élevés. C'est grâce à cet artifice que nous avons pu, tout d'abord, éviter l'usage d'un appareil différentiel à double collecteur, dont l'installation et l'entretien en service continu eussent été à peu près impossibles dans les conditions difficiles où nous devons opérer à la Tour Eiffel.

On ne trouvera dans ce Travail aucune discussion théorique; nous avons tenu à rester strictement dans le domaine des faits. La Météorologie électrique a toujours été — et est actuellement plus que jamais — encombrée par les conceptions théoriques les plus diverses, hypothèses parfois fantaisistes, parfois ingénieuses, mais qui ne méritent guère, en général, le nom de *théories* et dont les plus étudiées sont d'ailleurs insuffisantes à rendre compte de toutes les données, cependant peu nombreuses, fournies jusqu'ici par l'observation (¹). Qu'attendre de ces spéculations prématurées en présence des données nouvelles qui, tôt ou tard, viendront s'ajouter aux premières? Il y a quelques années à peine, l'une de ces théories régnait en maîtresse en Allemagne où, bien que la forme seule en fût nouvelle, elle s'était imposée comme une révélation. Un fait surgit, nettement constaté : la décroissance du champ avec l'altitude dans les régions élevées de l'atmosphère; la théorie avait vécu. Une autre la remplace aujourd'hui; d'autres viendront sans doute à leur tour!

Quoique de tels efforts ne soient jamais complètement stériles, on n'en doit

(¹) Nous avons donné dans un Mémoire précédent une énumération complète de ces théories, dont le nombre est aujourd'hui supérieur à trente. Une dizaine environ ont, dans leur conception première, un caractère d'originalité très net qui les fait entièrement indépendantes les unes des autres. [*Introduction historique et bibliographique à l'étude de l'Électricité atmosphérique (Annales du Bureau Central météorologique pour 1899, t. I).*]

pas moins regretter le contraste frappant — et presque caractéristique de cette branche de la Physique du globe — entre l'abondance des hypothèses émises et le petit nombre des faits établis.

Pour l'exécution des mesures électriques, toujours délicates et qui, notamment à la Tour Eiffel, exigeaient une vérification journalière, dans des conditions souvent pénibles, parfois périlleuses, d'appareils d'un accès difficile, j'ai été heureux de trouver dans le concours de mon assistant, M. Bigot, la collaboration intelligente et sûre qui m'était indispensable. Nous avons eu quelquefois à passer ensemble, là-haut, au voisinage des trois cents mètres, des heures désagréables, et je ne saurais oublier son dévouement absolu, son activité sans défaillances dans le travail commun. En outre, chaque année, M. Bigot a su assurer seul, avec une régularité parfaite, la continuité de la double série d'observations à la Tour Eiffel et au Bureau Central. Les remerciements que je lui adresse ici ne diront pas assez mon souvenir reconnaissant des services rendus.

Je remercie M. Milon, ingénieur du Service technique de la Tour, de l'extrême obligeance avec laquelle il s'est mis à ma disposition pour la partie matérielle de notre installation, et M. Moleski, assistant au Bureau Central, chargé plus spécialement du dépouillement des courbes et qui n'a cessé d'apporter les plus grands soins à ce travail minutieux.

Grâce au bienveillant accueil de M. L. Teisserenc de Bort, j'ai pu organiser, en 1898, à l'Observatoire de Météorologie dynamique de Trappes, la série de quelques mois d'observations que je désirais exécuter en dehors de Paris, simultanément avec les observations de la Tour Eiffel et du Bureau Central. Là encore, j'ai eu la bonne fortune d'être secondé de la façon la plus efficace et la plus dévouée par le sous-directeur de l'Observatoire, M. Raymond, expérimentateur habile, dont l'ingéniosité m'a beaucoup aidé à surmonter quelques difficultés imprévues de cette installation.

Enfin, dans l'isolement à peu près complet auquel se trouve condamné actuellement, en France, celui qui s'essaye aux études d'électricité atmosphérique, à défaut du stimulant si précieux des causeries et des échanges d'idées du laboratoire, j'ai du moins trouvé, pour réagir contre la lassitude de ces longues années d'un travail trop souvent ingrat, deux appuis qui ne m'ont jamais manqué quand j'ai eu à y faire appel : l'affection et les conseils d'un ami, Charles Rivière, les encouragements et les connaissances exceptionnelles, en tout ce qui touche à la Météorologie, de mon Chef de service au Bureau Central, M. A. Angot. A ce dernier je dois beaucoup ; par l'intérêt qu'il a toujours témoigné pour mes recherches, par son jugement sûr et ses excellents avis, il a sa large part dans ce qu'il peut y avoir de bon dans ce Travail.



PREMIÈRE PARTIE.

PROCÉDÉ D'OBSERVATION. — ÉTUDES EXPÉRIMENTALES.

CHAPITRE I.

ENREGISTREUR PHOTOGRAPHIQUE DE M. MASCART.

Nous décrivons d'abord en détail le procédé ordinaire d'observation à l'aide de cet appareil, en indiquant successivement certaines modifications que nous avons cru devoir apporter à ses différentes parties et qui peuvent présenter quelque intérêt, soit au point de vue de la pratique, soit pour ce qui concerne la précision des mesures.

I. — Collecteur.

La prise de potentiel est faite, suivant la méthode indiquée par Lord Kelvin, à l'aide d'un mince filet d'eau jaillissant d'un bassin métallique isolé, à l'extrémité d'un tube horizontal de 1^m,50 à 2^m de longueur. Ce bassin constitue le collecteur, et l'électromètre, qui lui est relié, mesure le potentiel du point où se fait la séparation des gouttelettes liquides.

Le collecteur ordinairement employé (*fig. 1, Pl. I*) est un vase en laiton de 60^{lit} à 70^{lit} de capacité, reposant sur trois isoloirs à tiges de verre desséchées par l'acide sulfurique. L'appareil est placé près d'une fenêtre et le tuyau d'écoulement, soutenu par une fourchette fixée au réservoir, s'allonge au dehors : l'eau s'en échappe par un ajutage très fin, de telle sorte que le débit soit d'environ 2^{lit} à 3^{lit} par heure.

Cette disposition, en raison de la stabilité imparfaite du bassin et des accidents qui peuvent provenir de la rupture d'un isoloir, n'est pas sans inconvénient dans la pratique. Elle présente, en outre, un très grave défaut : la longueur du jet, variant avec la charge, diminue à mesure que le niveau de l'eau baisse dans le réservoir ; par suite, le point où se fait la séparation des gouttelettes

liquides n'est pas fixe. Or, l'erreur qui en résulte est loin d'être négligeable. Considérons, en effet, le cas d'un tube d'écoulement s'allongeant de $1^m,10$ en dehors de la muraille, la longueur du jet étant de $0^m,40$ en pleine charge, et supposons que cette longueur soit réduite à $0^m,10$ dans les dernières heures de l'écoulement; la distance du point exploré aura varié de $0^m,30$, c'est-à-dire du cinquième de sa valeur. A la vérité, la variation correspondante du potentiel est moindre, car les surfaces de niveau sont plus serrées au voisinage du mur; mais pour un potentiel moyen de 200 volts, par exemple, la différence atteint aisément 25 volts.

On peut remédier à cet inconvénient, d'autant plus sérieux qu'il introduit dans les moyennes une erreur systématique notable, en disposant le collecteur en flacon de Mariotte. Il en résulte une complication assez gênante dans le cas d'observations continues pour lesquelles un récipient de grande capacité est nécessaire.

Collecteur à écoulement constant. — Pour obtenir un écoulement à peu près constant et assurer au point où se fait la prise de potentiel une position suffisamment fixe, nous avons donné au collecteur la forme suivante (*fig. 2, Pl. I*) : le réservoir, large et peu profond, a $0^m,60$ de diamètre et $0^m,22$ à $0^m,25$ de hauteur; du fond, convenablement renforcé, descend un tube vertical de $0^m,50$ environ de longueur et d'un diamètre assez fort ($0^m,05$ à $0^m,06$, par exemple) pour lui donner une rigidité suffisante; à sa partie inférieure est fixé le tuyau d'écoulement, soutenu par une fourchette horizontale solidement assujettie à l'extrémité du tube. Le tout repose, par le fond du bassin, sur trois isoairs disposés sur un support en bois qui porte en outre, alternant avec les isoairs, trois tiges métalliques verticales mobiles dans des écrous; on règle la hauteur de ces tiges de telle sorte que leurs extrémités soient voisines du fond du bassin : celui-ci serait ainsi soutenu si l'un des isoairs venait à se rompre. La longueur du tube vertical représente la charge à peu près constante sous laquelle se fait l'écoulement. Pratiquement, il suffit de donner à ce tube deux ou trois fois la hauteur du bassin.

Il faut encore atténuer une autre cause d'erreur provenant de l'action du vent, qui, suivant son intensité, disperse plus ou moins facilement le mince filet d'eau et peut faire varier de façon très appréciable le point de séparation des gouttelettes. Pour cela, au lieu d'un orifice unique, on emploie des ajutages en forme de petites pommes d'arrosoir, percés de trois, cinq ou sept trous très fins dans une même section méridienne horizontale. On règle l'écoulement de telle sorte que, sous la charge minima représentée par la hauteur du tube vertical, les jets soient très courts. En raison de leur grande finesse, ils sont immédiatement disséminés en gouttelettes et l'influence du vent devient négligeable sur la position du point exploré, constamment situé à une petite distance de l'extrémité du tuyau. Cette disposition permet d'ailleurs, comme l'a fait remar-

quer M. Pellat, de réduire notablement la dépense de liquide et, par suite, d'alléger l'appareil en diminuant la capacité du réservoir. En effet, les gouttes d'eau sont plus petites et, leur volume étant proportionnel au cube du rayon tandis que leur capacité électrique est en raison directe de la première puissance, à une même masse d'eau écoulée correspond un débit électrique plus considérable.

On évitera l'obstruction des trous de l'ajutage en plaçant sur l'ouverture du tube vertical, dans le fond du bassin, un tamis d'étoffe légère fixé par un pas de vis ou un mouvement de baïonnette et qui retient les matières solides en suspension dans l'eau.

II. — Isoleurs.

Le collecteur est isolé par des supports à tiges de verre desséchées par l'acide sulfurique, dont l'emploi a été préconisé par Lord Kelvin. C'est le seul procédé qui présente des garanties suffisantes pour des observations continues au voisinage du sol.

Sous la forme que leur a donnée M. Mascart, ces isoleurs sont d'un usage très commode et leur efficacité résulte principalement de la protection de la tige isolante contre les poussières de l'air, assurée par le chapeau mobile. La vapeur d'eau est isolante comme l'air lui-même; un support primitivement isolant ne perd cette propriété que par l'effet de l'humidité qui se dépose à sa surface. Or, la formation de cette couche conductrice est due surtout à la présence de poussières qui provoquent énergiquement la condensation de la vapeur d'eau.

Dans les observations au sommet de la Tour Eiffel, l'isolement des appareils en partie exposés à l'air libre, malgré la pluie et le vent, a toujours été obtenu avec la plus grande facilité. C'est que l'air, à cette altitude, ne renferme plus que très peu de matières solides en suspension, et l'on a pu employer indifféremment, pour supporter le réservoir, soit des isoleurs en verre desséché à l'acide sulfurique, soit des isoleurs à la paraffine et au soufre, tandis que l'emploi de ces dernières substances est à peu près impossible pour des observations *continues* au voisinage du sol.

On aura donc avantage, dans l'emploi des isoleurs à acide sulfurique, à donner une assez grande hauteur aux bords du chapeau, de telle sorte que la partie inférieure de celui-ci s'éloigne peu de la surface du flacon (').

Comme soutiens du fil métallique qui relie le collecteur à l'électromètre, on emploie généralement le support spécial dit *support pour fil*. La baguette de verre qui forme l'axe du flacon est bien préservée de la poussière et sa surface

(1) On voit sur les *fig. 2 et 12 (Pl. I et III)* des isoleurs de ce genre, à tubulure latérale, construits par M. Chabaud et qui nous ont donné les meilleurs résultats.

est maintenue sèche par une petite quantité d'acide sulfurique placée au fond du vase.

La nature du verre employé pour la fabrication des isoloirs à acide sulfurique a une très grande importance. Ils doivent être d'un verre vert, assez dur et peu fusible. Les isoloirs pour fils, notamment, qui sont difficiles à souffler, perdent toutes leurs qualités quand ils sont faits en cristal ordinaire.

Il suffit de renouveler l'acide des isoloirs *deux ou trois fois par an*, au plus, en ayant soin, à chacune de ces opérations, de laver longuement les vases à grande eau ⁽¹⁾. On s'assurera de temps à autre, toutes les semaines par exemple, de l'état d'isolement des appareils, en les chargeant, avec une petite étincelle d'électrophore, à un potentiel notablement supérieur aux plus grandes valeurs obtenues en régime normal. L'isolement peut être considéré comme suffisant si la perte du dixième de la charge, estimée par le déplacement de l'image lumineuse sur l'échelle de l'enregistreur, met une minute à se produire; mais il est bon qu'il soit meilleur, et l'on y arrive aisément. Nous avons fréquemment étudié à l'aide des courbes fournies par l'enregistreur la déperdition de l'ensemble de notre appareil préalablement électrisé; quand les isoloirs sont en bon état, après vingt-quatre heures, l'aiguille de l'électromètre peut n'être pas revenue au zéro ⁽²⁾. C'est là un résultat que seuls, à notre avis, les isoloirs précédemment décrits permettent d'atteindre pour un appareil en service *continu*.

III. — Enregistreur.

L'enregistreur proprement dit se compose d'une horloge à poids, reliée par une crémaillère à un cadre vertical qui descend de toute sa hauteur pendant vingt-quatre heures. Sur ce cadre on place, entre deux lames de verre, une feuille de papier au gélatinobromure de grande sensibilité.

La source lumineuse est une fente verticale éclairée par une petite lampe à essence de pétrole. La lanterne qui la contient est fixée latéralement sur la boîte de l'horloge. La lumière arrive au miroir de l'électromètre en traversant une lentille plan-convexe. Il en résulte deux images : l'une fixe, un peu pâle, provient d'une réflexion partielle sur la face plane postérieure de la lentille;

(1) Nous avons souvent laissé les isoloirs en service continu pendant plus de six mois. Le 9 novembre 1895, les isoloirs étant en place depuis le 27 février, nous avons encore, par une journée extrêmement humide et pluvieuse, un très bon isolement du bassin. L'acide sulfurique, retiré des vases où il avait été introduit à 65^B, 5, ne pesait plus que 52^B à l'aréomètre. L'appareil fut remis en service le 1^{er} décembre; il y est resté, sans que l'on ait eu à toucher aux isoloirs, jusqu'au 20 novembre 1896, *c'est-à-dire pendant un an*. L'isolement était encore plus que suffisant au moment où, pour la période d'hiver, nous avons cru devoir renouveler l'acide fortement hydraté.

(2) On trouvera Chapitre II, page 18, quelques nombres relatifs à cette déperdition.

l'autre, plus brillante et mobile, est donnée par le miroir. On les reçoit sur une fente horizontale étroite pratiquée dans la paroi de l'horloge derrière laquelle se déplace le papier sensible.

L'électromètre est réglé de telle sorte que les deux images se superposent quand l'aiguille est en communication avec le sol. L'appareil étant mis en marche, l'image fixe dessine une droite, l'image mobile une courbe dont les ordonnées, comptées à partir de la droite, donnent les valeurs du potentiel pendant la durée de l'expérience. Pour l'indication des heures, on trace, sur la lame de verre antérieure du cadre dans lequel est placé le papier photographique, une série de lignes horizontales très fines et opaques qui interrompent la courbe à des intervalles égaux. La distance de deux traits consécutifs (0^m,01 dans le modèle ordinaire) doit représenter le déplacement pendant une heure.

La manipulation quotidienne, consistant à enlever le cadre pour le remettre en place après le changement du papier et à renouveler le liquide de la lampe, est extrêmement simple et ne demande que quelques minutes. Pendant le remplissage du collecteur, l'appareil est mis en communication avec le sol; les deux images doivent alors se superposer et l'on peut ainsi vérifier chaque jour, sur les feuilles, l'état du réglage de l'électromètre.

Enregistreur à cylindre. — Sous le rapport de la commodité, de la sûreté de marche et même de l'élégance, l'enregistreur que nous venons de décrire ne laisse rien à désirer; c'est un excellent appareil d'Observatoire. Pour des observations improvisées, ou bien dans des conditions telles que l'installation d'une horloge soit difficile, on peut lui substituer un instrument plus simple.

L'enregistreur que nous avons employé dans nos expériences au sommet de la Tour Eiffel consiste en un cylindre de Richard, monté horizontalement et tournant à l'intérieur d'un manchon métallique dans lequel une fente étroite est percée suivant une génératrice (*fig. 3, Pl. I*).

Le papier photographique est enroulé sur le cylindre, la face sensible appliquée sur le métal, de telle sorte que ce soit le dos de la feuille qui se présente à l'impression lumineuse. Avec la même source de lumière, on obtient, à travers l'épaisseur du papier, des courbes parfaitement nettes. On évite ainsi le contact des doigts sur la face sensibilisée, qui serait inévitable pendant l'enroulement, et celui-ci est rendu beaucoup plus facile, la feuille se plaçant pour ainsi dire d'elle-même sur le cylindre.

Le tracé de lignes horaires analogues à celles qui sont données par l'enregistreur à horloge entraînerait une complication inutile. On y supplée en notant les heures du commencement et de la fin de l'expérience et pointant ensuite directement sur les feuilles les heures intermédiaires. La marche du mouvement

d'horlogerie des cylindres de Richard est assez régulière pour que ce procédé, employé avec soin, donne les temps avec une précision suffisante.

IV. — Électromètre.

L'électromètre de M. Mascart est une modification, aujourd'hui bien connue, de l'électromètre à quadrants de Thomson. Les deux paires de secteurs, reliées aux pôles d'une pile dont le milieu est au sol, sont à des potentiels égaux et de signes contraires. L'aiguille, suspendue par un bifilaire en fils de cocon, est traversée, suivant son axe de rotation, par une tige de platine à laquelle est fixé un miroir léger et qui plonge dans un vase de verre renfermant de l'acide sulfurique. Elle est mise en communication avec le collecteur par l'intermédiaire de ce liquide qui sert, en outre, à maintenir sec l'air de la cage (1).

Cet instrument, bien réglé, est parfaitement symétrique, c'est-à-dire qu'il donne, de part et d'autre du zéro, des déviations égales pour des potentiels égaux et de signes contraires. Dans les limites de quelques degrés que comporte le champ de l'enregistreur, les indications sont proportionnelles aux potentiels de l'aiguille. Il est enfin remarquablement isolé (2).

Déplacement du zéro; dispositif permettant de le supprimer. — Cette double qualité d'isolement et de symétrie fait de l'électromètre de M. Mascart un instrument précieux pour les observations continues d'électricité atmosphérique; il présente cependant, dans la pratique, un inconvénient qui a fréquemment rebuté les observateurs et que nous avons dû nous préoccuper de faire disparaître : c'est le déplacement du zéro.

Voici en quoi consiste ce phénomène :

Après un temps variable et parfois très court (deux ou trois jours, par exemple, dans certaines saisons), l'aiguille ne revient plus au zéro quand on

(1) Le cristalliseur renfermant l'acide doit reposer, soit directement sur le fond métallique de la cage, soit sur trois petites gouttes de paraffine disposées sur ce fond. Il faut éviter l'emploi des lames isolantes de mica qui, par suite d'une électrisation superficielle, donnent lieu à des charges résiduelles considérables dont la persistance peut troubler gravement les mesures. C'est probablement à cette cause d'erreur qu'il convient d'attribuer quelques-unes des critiques formulées au sujet de l'emploi de l'électromètre de M. Mascart dans les mesures de précision.

(2) L'isolement de l'aiguille par le bifilaire en fils de cocon est parfait. Il en est de même de celui du vase de verre renfermant l'acide, si l'on fait reposer ce vase sur trois gouttes de paraffine, et pourvu qu'il soit en verre vert et lavé à grande eau à chaque renouvellement du liquide. Quant au conducteur de charge qui établit la communication entre l'acide sulfurique et la borne reliée au collecteur, il est soutenu, soit par une courte baguette de verre plein, soit, comme cela a lieu dans les modèles récents, par un tube de verre creux. Cette seconde disposition, adoptée pour simplifier quelques détails de construction, paraît beaucoup moins efficace que la première; il est, en effet, difficile de maintenir propre la surface interne de ce tube, tandis que le nettoyage de la baguette pleine est des plus aisés.

met l'électromètre au sol; elle reste déviée (généralement du côté positif) et cette position n'est pas stable. Le déplacement, d'abord faible, augmente constamment si l'on prolonge l'expérience; la courbe de l'enregistreur y participe tout entière et il semble qu'un couple de torsion, variable avec le temps mais toujours de même sens, s'ajoute au couple provenant des actions électriques. Il suffit alors de renouveler l'acide sulfurique pour revenir *immédiatement* au réglage primitif.

Tels sont les faits. Il ne paraît pas aisé d'en donner une explication satisfaisante.

Le déplacement du zéro se produit beaucoup plus rapidement en hiver qu'en été et, en général, par les temps humides que par les temps secs. L'hydratation de l'acide semble donc jouer un rôle dans le phénomène. Cependant, le titre du liquide pris à l'aréomètre est souvent très peu diminué. Dans une de nos expériences, l'acide renouvelé le septième jour, le zéro commençant à se déplacer, marquait 65^b; il avait été introduit à 65^b,5 environ. L'hydratation totale de la masse paraît vraiment négligeable et l'on peut s'en assurer en employant, pour renouveler l'acide, un liquide d'un titre équivalent ou moindre; on obtient, pendant un temps plus court il est vrai, un zéro parfaitement stable.

D'autre part, le fait que le renouvellement de l'acide rétablit *immédiatement* la stabilité du zéro écarte l'hypothèse d'une altération passagère du fil de suspension, car celle-ci ne saurait aussi rapidement disparaître après avoir été se développant pendant plusieurs jours, si l'on a laissé le déplacement du zéro s'accroître.

On est ainsi conduit à chercher, dans une modification des couches superficielles du liquide, la cause de ce phénomène singulier. Et en effet, si, au lieu de renouveler l'acide, on se borne à l'agiter de façon à bien mélanger les différentes couches, en l'aspirant, par exemple, avec une pipette et le laissant retomber dans le vase, on revient au réglage primitif et l'on rend au zéro sa stabilité. Nous avons répété maintes fois cette expérience qui nous paraît concluante. Dans l'un de ces essais, l'acide ayant été renouvelé le 28 février 1894, le zéro commençait à se déplacer le 9 mars; nous avons alors longuement agité le liquide, et le zéro, redevenu fixe, est resté stable 5 jours encore, jusqu'au 14.

Il reste à connaître la nature et l'origine de cette modification des couches du liquide. On peut se demander si elle est simplement le résultat d'une hydratation superficielle ou si la circulation d'électricité, qui se fait constamment par cette surface, intervient.

Pour le savoir, nous avons mis en expérience un électromètre sensible dont les secteurs et l'aiguille étaient au sol. L'acide sulfurique employé, chimiquement pur, bouilli, marquait 65^b,2 environ à l'aréomètre. Le zéro a commencé à se déplacer le cinquième jour, et ce déplacement a été en augmentant les jours

suivants. Le neuvième jour, alors que la déviation avait pris une valeur considérable, nous avons enlevé la lentille de l'électromètre et, par l'ouverture, sans toucher à aucune autre partie de l'instrument, nous avons, avec une pipette, aspiré plusieurs fois l'acide, de façon à en bien mélanger les couches. L'aiguille est aussitôt revenue doucement au zéro primitif et s'y est fixée.

Ainsi, le déplacement du zéro se produit indépendamment de toute action électrique et paraît uniquement dû à l'hétérogénéité de la masse du liquide que traverse la tige conductrice de l'aiguille. Cependant, nous avons dit précédemment que, dans les conditions ordinaires, le déplacement a presque toujours lieu du côté des déviations positives; c'est là un fait à peu près constant et signalé par tous les observateurs. Or, ce sens est celui de la déviation dominante, l'électricité atmosphérique étant normalement positive.

M. Røiti, de Florence, qui, au cours de recherches faites à l'aide d'un enregistreur de M. Mascart, a étudié avec soin le phénomène qui nous occupe, a constaté des déplacements du zéro vers les négatifs à la suite de périodes pluvieuses prolongées pendant lesquelles le potentiel avait eu presque constamment ce signe. Nous n'avons pas eu l'occasion de vérifier ce résultat. Ce qui est certain, c'est ce que le sens du déplacement est indépendant du sens de la déviation au moment où l'on met l'électromètre au sol. Dans le cas d'un déplacement du zéro positif, par exemple, si la mise au sol a lieu sur une déviation négative résultant d'un phénomène accidentel, pluie, orage, etc., l'aiguille vient reprendre vers les positifs la position d'équilibre due au déplacement constaté.

L'explication complète de ce phénomène nous a échappé (1).

La nécessité de renouveler fréquemment l'acide, en raison du soin qu'exige cette opération, du réglage à vérifier, et parfois d'une nouvelle graduation à faire, occasionne une perte de temps appréciable et produit des lacunes fâcheuses dans les observations.

On atténue le déplacement du zéro, sans le faire disparaître, en donnant un écart aussi grand que possible aux brins du bifilaire et en augmentant en conséquence le nombre des éléments de la pile de charge. La nature de l'acide employé, son état de pureté et de concentration paraissent aussi avoir une grande influence sur le temps pendant lequel le zéro reste fixe. Nous avons fait usage, pendant plusieurs mois de l'année 1893, d'un acide au soufre du commerce, pesant un peu plus de 66^u, qui nous donnait des résultats excellents et tels qu'au point de vue de la pratique on pouvait considérer le déplacement du zéro comme supprimé. Il nous a été impossible, depuis lors, de réaliser ces condi-

(1) La symétrie par rapport à l'axe de l'aiguille rend difficile à concevoir l'existence d'un couple provenant de forces capillaires ou autres dans les courbes superficielles hydratées.

tions qui nous avaient fait croire à la possibilité d'assurer la fixité du zéro par l'emploi d'un fil de cocon ancien et bien détordu et d'un acide sulfurique convenable (1).

Nous n'avons réussi à donner au zéro de l'électromètre toute la stabilité désirable qu'en supprimant le contact de l'aiguille et de l'acide sulfurique. Pour cela, au milieu du vase de verre renfermant l'acide et dans lequel plonge le conducteur de charge, on place un vase plus petit lesté avec du mercure et contenant de la glycérine (*fig. 4, Pl. II*). La tige de l'aiguille pénètre dans ce liquide *sans toucher au mercure*. Un cavalier formé d'un fil de platine, et qui, lui, plonge jusqu'au mercure, établit, par-dessus les bords du petit vase, une communication conductrice entre l'acide sulfurique et la glycérine par laquelle se fait la charge de l'aiguille.

Avec cette disposition, il n'est plus nécessaire de renouveler l'acide que quand il est par trop hydraté : tous les deux mois en été, toutes les six semaines en hiver. Rien n'est d'ailleurs changé dans le fonctionnement de l'électromètre qui conserve toutes ses qualités avec un amortissement meilleur.

Pile de charge. — La plus communément employée se compose d'éléments Volta, zinc-cuivre-eau ordinaire, dont la force électromotrice est sensiblement égale à 1 volt quand ils sont montés depuis peu. La pile est formée de petits vases en porcelaine, de 20^{cc} à 30^{cc} de capacité, encastrés dans un gâteau de paraffine qui assure l'isolement. L'entretien en est fort simple et consiste à remplacer de temps à autre l'eau qui disparaît par évaporation.

Mais cette pile se polarise et la force électromotrice décroît rapidement dans les premiers temps qui suivent le montage. Pour l'une de nos piles à eau, du modèle ordinaire de 50 éléments, montée le 23 mai 1894, la force électromotrice était de 0^{volt},95 le 27 mai, 0^{volt},78 le 7 juin, 0^{volt},68 le 18 juin, 0^{volt},62 le 1^{er} juillet, 0^{volt},56 à la fin du même mois. Elle est alors restée à peu près constante, en augmentant toutefois sensiblement (de 0^{volt},56 à 0^{volt},60) à chaque addition d'eau dans les piles. La sensibilité de l'électromètre est ainsi variable et la précision des mesures s'en ressent.

M. André a substitué très avantageusement à l'élément Volta celui qui a été préconisé comme étalon par M. Gouy et qui est formé de zinc, sulfate de zinc, bioxyde de mercure et mercure. Il est facile de lui donner des dimensions très restreintes et d'établir commodément une pile d'un grand nombre d'éléments, mais le prix de revient en est un peu élevé.

Nous avons préféré conserver le type habituel, en employant comme liquide

(1) *Methods and instruments of precision for the study of atmospheric Electricity*, by A.-B. CHAUVEAU (*Report of the Chicago meteorological Congress*, part. II, p. 569; 1893).

une solution étendue de sulfate de magnésie. L'élément zinc-sulfate de magnésie-cuivre a été étudié par M. Damien (1), qui lui a reconnu une constance remarquable. Sa force électromotrice, comprise entre 1^{volt},04 et 1^{volt},06, est, dans ces limites, à peu près indépendante du degré de concentration de la solution; elle varie également fort peu avec la température.

On emploiera de préférence une dissolution assez étendue, donnant 5ⁿ à 6ⁿ à l'aréomètre, et, pour éviter les sels grimpants, on paraffinera légèrement les bords des vases qui ne seront remplis qu'au tiers environ de leur hauteur. En remplaçant l'eau perdue par évaporation à des intervalles réguliers, tous les huit ou quinze jours, suivant la saison, on entretient la pile en parfait état.

Graduation. — Pour pouvoir traduire en volts les ordonnées des courbes fournies par l'enregistreur, il est bon de faire de temps à autre, sur la feuille même, une graduation, en mettant successivement l'aiguille en communication avec les deux pôles d'une pile de force électromotrice connue. Les déviations de sens contraires sont enregistrées et de l'écart des traces correspondantes on déduit la valeur en volts du millimètre d'ordonnée.

Les potentiels à mesurer, dans les conditions ordinaires de l'installation du collecteur, c'est-à-dire à 1^m,50 environ d'une paroi verticale et à quelques mètres au-dessus du sol, peuvent atteindre 400 volts en hiver, 250 volts en été au moment des maxima diurnes et par beau temps. La graduation doit être faite à l'aide d'une différence de potentiel de grandeur comparable, ce qui suppose l'emploi d'une pile d'au moins 100 éléments dont chaque pôle sera successivement mis au sol tandis que l'autre sera relié à l'aiguille de l'électromètre.

Dans nos observations au Bureau central, la même pile de 50 éléments sert pour la charge des secteurs et la graduation courante répétée chaque semaine. Celle-ci a surtout pour but de constater que la force électromotrice ne change pas; toute variation de cette force électromotrice retentirait, en effet, proportionnellement à son carré, sur les déviations de l'aiguille. La graduation définitive est faite seulement tous les deux ou trois mois, avec une pile de 200 éléments au sulfate de magnésie montée depuis un jour.

La sensibilité est réglée de telle sorte que 1^{mm} d'ordonnée corresponde sensiblement à 5 volts. On peut d'ailleurs faire varier le champ de l'enregistrement en modifiant la largeur du papier photographique, de façon à utiliser une portion plus ou moins grande de la fente horizontale derrière laquelle le papier descend. Nous employons, pour cela, deux cadres différents. Celui qui sert habi-

(1) *Recherches expérimentales sur la force électromotrice des piles à un liquide* (Lumière électrique, t. XVIII, p. 361; 1885).

tuellement reçoit des feuilles de $0^m,14$ de largeur; le champ correspondant est donc de 700 volts. Le second cadre utilise la totalité de la fente, soit $0^m,20$, avec un champ de 1000 volts.

V. - Dépouillement des observations.

Les courbes sont toujours extrêmement accidentées. Dans les conditions les plus favorables en apparence, par un ciel serein, par un temps calme et alors que les autres éléments météorologiques varient avec la plus grande régularité, le potentiel, surtout pendant le jour, subit des changements rapides qui, dans l'espace de 10 à 15 minutes et moins, correspondent communément au quart de sa valeur moyenne. En dehors de ces variations constantes, pour ainsi dire, et que l'on peut considérer comme normales, il en est d'autres plus prononcées, hérissant la courbe de crochets aigus et pour lesquelles les changements dans la valeur du potentiel atteignent et dépassent la valeur moyenne elle-même.

En raison de cette allure tourmentée des courbes, le dépouillement des observations est à la fois très délicat et très pénible. On a parfois recommandé de tracer, au travers des accidents de la courbe véritable, une courbe moyenne sur laquelle on relève ensuite d'heure en heure les valeurs du potentiel. Nous considérons ce procédé comme très défectueux, nous pourrions même dire dangereux, pour une interprétation exacte des résultats. En l'employant, l'observateur est conduit, presque involontairement, à accentuer les maxima et les minima aux heures où il les rencontre d'ordinaire et à atténuer ainsi les caractères particuliers de chaque journée. D'autre part, pour peu que les accidents soient fréquents et d'une amplitude assez grande, le tracé de cette courbe moyenne devient extrêmement difficile.

Nous croyons qu'il est beaucoup plus exact et plus sûr de pointer directement, pour chaque demi-heure, l'ordonnée qui paraît représenter la valeur moyenne du potentiel pendant ce temps. Cette estimation est délicate, mais comme elle ne porte chaque fois que sur une portion peu étendue de la courbe, les chances pour l'introduction d'une erreur systématique sont évidemment très diminuées. Les ordonnées sont évaluées en millimètres et les nombres obtenus convertis en volts. Dans nos mesures, c'est donc à 5 volts près que sont données les 48 observations quotidiennes. D'après le caractère même des courbes, une approximation plus grande serait entièrement illusoire.

Ce dépouillement est fait pour toutes les journées pendant lesquelles le potentiel est resté constamment positif, quel qu'ait été l'état du ciel, à la condition qu'aucun de ces phénomènes, tels que pluies, brouillards ou brumes, ne soit intervenu, qui, sans changer le signe du potentiel, en modifient notablement

la valeur. On établit ensuite les moyennes, d'une part pour l'ensemble de toutes ces journées, de l'autre pour des journées choisies et remarquables par la pureté du ciel et la faiblesse du vent.

Enregistrement des phénomènes accidentels. — La détermination de la variation diurne par beau temps ne représente qu'une partie des résultats que l'on peut attendre des mesures régulières faites dans un Observatoire. Il est de toute nécessité d'y joindre l'étude des manifestations électriques qui accompagnent les phénomènes accidentels : pluies, neiges, orages, gelées, brouillards, etc. Or, ces manifestations, de signes variables, ont fréquemment une intensité très grande et rejettent bien en dehors du champ de l'enregistreur l'image lumineuse réfléchie par l'aiguille de l'électromètre.

L'emploi simultané de deux instruments de sensibilités différentes est alors indispensable et l'on peut, par un dispositif fort simple, enregistrer leurs indications sur la même feuille. Il suffit de remplacer l'obturateur à fente unique de la lanterne par un obturateur à deux fentes parallèles, distantes de un demi-centimètre environ et recouvertes par deux prismes de très petit angle disposés en sens contraires. Les faisceaux lumineux émergents divergent et vont tomber sur les deux électromètres placés côte à côte.

Nous avons obtenu, par ce procédé, un grand nombre d'observations complètes de chutes de pluies et de neiges et de phénomènes orageux. Les potentiels positifs et négatifs constatés dépassent fréquemment 2000 volts. Nous indiquerons, dans le Chapitre suivant, les modifications qu'il convient d'apporter à l'électromètre pour ce genre de mesures.

Si complètes qu'elles puissent être, les seules données fournies par un appareil enregistreur sont insuffisantes. L'observation constante de l'état de l'atmosphère et du ciel en est le complément obligé. Elle doit donner les instants précis du commencement et de la fin de chacun des phénomènes et l'indication de leurs différentes phases.

Et même, en dehors de tout accident météorologique, il est encore nécessaire de noter heure par heure, autant que possible, les changements dans la nébulosité, dans la nature et la direction des nuages, dans l'intensité et la direction du vent. Ces observations directes sont fort assujettissantes, mais les manifestations électriques sont si complexes, elles paraissent si intimement liées à toutes les modifications survenues dans l'atmosphère, qu'il ne paraît pas possible actuellement, dans l'incertitude où l'on est encore des causes générales, de se refuser à chercher, dans l'étude des détails, l'occasion de rapprochements intéressants.



CHAPITRE II.

MESURE DES POTENTIELS ÉLEVÉS.

Nous avons dû nous préoccuper de la mesure des potentiels élevés, d'abord pour l'étude des phénomènes accidentels qui, comme la pluie, la neige, les orages, etc., donnent lieu à des manifestations électriques intenses au voisinage du sol, ensuite pour l'enregistrement continu des valeurs normales observées au sommet de la Tour Eiffel.

I. — Emploi de l'électromètre à quadrants.

Pour conserver à l'appareil de mesures les qualités nécessaires de symétrie et d'isolement, nous avons cherché à utiliser, sous sa forme ordinaire, l'électromètre de M. Mascart, en réduisant sa sensibilité par l'emploi d'une aiguille lourde et à large crochet de suspension, de façon à pouvoir donner un écart convenable aux brins du bifilaire.

L'aiguille qui nous a servi dans nos expériences est entièrement en platine et pèse 10^6 (le poids moyen d'une aiguille ordinaire est inférieur à 1^6). Le double crochet, par lequel elle est suspendue, a 6^{mm} d'écart entre ses branches. L'aiguille proprement dite est formée d'une lame épaisse de platine, bien émoussée sur la tranche, et les secteurs, évidés en leur milieu, sont un peu plus petits que dans le type habituel. Elle est traversée normalement par une tige rigide le long de laquelle est appliqué le miroir et qui porte, à sa partie inférieure, un système de larges et lourdes ailettes plongeant dans l'acide sulfurique. L'emploi de la glycérine est inutile; le déplacement du zéro ne saurait se produire d'une manière appréciable, pour une valeur aussi grande du couple de torsion.

L'électromètre est un instrument du type primitif construit par M. Carpentier. L'isolement du conducteur de charge y est bien meilleur que dans les modèles récents (note 2, p. 10). Pour les raisons que nous avons données précédemment (note 1, p. 10), et qui prennent ici une importance particulière, on supprimera la lame de mica habituellement placée sous le vase de verre ren-

fermant l'acide sulfurique et l'on fera reposer ce vase sur trois petites gouttes de paraffine déposées sur le socle métallique de l'appareil.

Aucune autre modification n'est essentiellement nécessaire. On s'assurera simplement que, dans la limite des potentiels à mesurer, il ne peut se produire de décharges entre la cage de l'électromètre et le conducteur isolé relié à la source. Celui-ci traverse le couvercle de la cage par un orifice un peu étroit dans le modèle ordinaire et qu'il sera bon de faire élargir. Le chapeau mobile qui le recouvre doit avoir un jeu suffisant pour pouvoir être soulevé de quelques millimètres et l'on prendra soin de ne pas laisser sur ce chapeau, ou sur toute autre partie du conducteur, d'arêtes ou de saillies trop vives.

Au point de vue de l'isolement, les qualités de cet électromètre, bien construit, sont exceptionnelles.

Nous reproduisons ici quelques nombres relevés sur l'une des courbes de déperdition que nous obtenons, à l'aide de l'enregistreur, en chargeant l'aiguille à un potentiel très élevé et en abandonnant l'appareil à lui-même pendant plusieurs heures :

	Heures.								
	0.	2.	4.	6.	8.	10.	12.	14.	16.
Ordonnées en millimètres . . .	100,0	54,8	38,8	30,5	25,3	21,6	19,5	17,8	16,0
Potentiels en volts	3800 (1)	2082	1474	1159	961	821	741	676	608

Ainsi, après seize heures, le potentiel était encore d'environ 600 volts et variait alors, dans une heure, de moins de 40 volts.

Dans un autre essai fait avec le même électromètre *relié à l'appareil collecteur*, nous avons eu, pour une durée de sept heures, les valeurs suivantes :

	Heures.							
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Ordonnées en millimètres	100,0	66,5	52,2	41,4	33,7	27,8	23,0	18,7
Potentiels en volts	2280	1516	1190	944	768	634	524	426

Cette deuxième expérience est du 22 avril 1896; les cinq isoloirs de l'appareil (dont trois pour supporter le bassin et deux pour soutenir le fil de jonction avec l'électromètre) *étaient en place depuis le 1^{er} décembre 1895, c'est-à-dire depuis près de cinq mois*. Dans ces conditions, le résultat paraîtra sans doute remarquable et rien ne saurait mieux démontrer la valeur pratique des isoloirs à acide sulfurique (2).

(1) C'est la valeur apparente résultant de la déviation; la valeur vraie est plus élevée, ainsi que nous le verrons plus loin.

(2) L'emploi de l'enregistreur, suivant le procédé que nous venons d'indiquer, permettrait une étude facile des lois de la déperdition, par l'analyse des courbes obtenues.

On peut faire, à ce sujet, la remarque suivante sur les nombres que nous avons donnés. Dans la

II. — Déviation limite de l'électromètre à quadrants.

Dans les conditions que nous venons de décrire, l'électromètre à quadrants peut mesurer, avec une suffisante précision, des potentiels croissants jusqu'à 2300 ou 2500 volts environ. Si l'on veut aller au delà, la sensibilité de l'instrument semble diminuer quand la charge augmente et *la déviation de l'aiguille atteint une valeur limite* qu'elle ne peut pas dépasser.

La limite *apparente* de la charge qui lui correspond est indépendante de la différence de potentiel entre les secteurs et varie dans le même sens que la valeur du couple de torsion; elle tombe, par exemple, de 4000 à 2000 volts (*apparents*), si l'on réduit de 6^{mm} à 1^{mm} l'écart supérieur des brins du bifilaire. Cette dernière remarque est importante, car elle montre immédiatement que l'état d'isolement de l'appareil n'est pour rien dans l'existence de la déviation limite.

Nous avons constaté ce phénomène dès le début de nos recherches, vers la fin de 1892, et nous l'avions cru nouveau. En réalité, il avait été signalé antérieurement, d'abord par M. Hopkinson (1), puis par MM. Ayrton, Perry et Sumpner (2); mais dans leur étude expérimentale, d'ailleurs très minutieuse, ces physiciens semblent s'être peu préoccupés de rattacher les résultats obtenus aux conditions théoriques du fonctionnement de l'électromètre à quadrants.

Nous avons montré (3) que l'existence d'une déviation limite de l'aiguille est une conséquence de l'existence du couple directeur électrique, introduit par M. Gouy dans la théorie de l'électromètre (4), et de ce fait qu'il est pratiquement impossible de réaliser une symétrie parfaitement rigoureuse du système formé par l'aiguille et les secteurs.

seconde expérience, relative à la déperdition de l'appareil tout entier, collecteur et électromètre, les valeurs du potentiel s'accordent assez bien, du moins à partir de la deuxième heure, avec la formule exponentielle ordinaire $V = A^t$. Il n'en est pas de même des nombres de la première série qui se rapportent à l'électromètre seul. Ceux-ci se rapprochent davantage des valeurs calculées par la formule $V = A^t V_0$, et mieux encore de $V = A^t V_0^{0.55}$. La courbe de cette expérience est, en effet, assez exactement représentée, dans sa plus grande partie, par $V = A^t V_0^{0.55}$.

Cette déperdition, particulière à l'électromètre, est assez variable. Elle paraît plus lente si le vase renfermant l'acide sulfurique dans lequel plonge l'aiguille repose sur une lame de mica, disposition qui favorise l'apparition de charges résiduelles. Un instrument de mesure de capacité beaucoup plus faible que celle de l'électromètre de M. Mascart serait, par suite, nécessaire pour étudier ainsi la déperdition sur les conducteurs.

(1) *Proceed. of the physical Society*, t. VII, part. I; 1885.

(2) Mémoire présenté à la Société Royale, le 4 juin 1891.

(3) *Société de Physique*, 3 mai 1895, et *Sur la déviation limite de l'électromètre à quadrants* (*Journal de Physique*, octobre 1900).

(4) *Journal de Physique*, 2^e série, t. VII, p. 7; 1888.

En appliquant au cas qui nous occupe, c'est-à-dire pour des valeurs considérables du potentiel de l'aiguille et des valeurs relativement faibles des potentiels des secteurs, les considérations développées par M. Gouy, on trouve, en effet, que la déviation doit passer par un maximum pour les valeurs du potentiel

$$V_0^2 = \frac{B}{\alpha},$$

B représentant le couple de torsion et α un coefficient très petit qu'introduit le défaut de symétrie de l'appareil. La déviation maxima est alors exprimée par

$$\Delta = \mu \frac{V_1}{\sqrt{\alpha B}}$$

proportionnelle à la différence de potentiel, $2V_1$, entre les secteurs et en raison inverse de la racine carrée du couple de torsion.

Quant au potentiel *apparent* qui lui correspond, sa valeur dépend de la sensibilité de l'électromètre. La valeur en volts du millimètre de l'échelle étant inversement proportionnelle à V_1 et proportionnelle au couple de torsion B, le potentiel apparent mesuré par Δ sera, comme nous l'avons dit plus haut, indépendant de V_1 et proportionnel à la racine carrée du couple de torsion du bifilaire.

III. — Procédé des condensateurs en cascade pour la mesure des potentiels élevés.

Les limites des potentiels directement mesurables à l'électromètre que nous avons indiquées (de 2000 à 2500 volts), et que l'on peut obtenir aisément par des modifications peu importantes du modèle ordinaire de l'instrument, sont largement suffisantes pour les observations au voisinage du sol. Au Bureau Central météorologique, la prise de potentiel étant faite à la distance moyenne de 1^m,40, nous n'avons jamais observé, par pluies, neiges ou brouillards, et en dehors de quelques orages d'intensité exceptionnelle, de valeurs supérieures à 2200 volts. L'emploi d'un tube plus court permettrait d'ailleurs, au besoin, de ne pas dépasser les valeurs directement mesurables. Aucune complication des appareils n'est donc nécessaire et l'usage simultané de deux instruments, l'un de sensibilité moyenne, l'autre très peu sensible, installés comme il a été dit précédemment (Chap. I, p. 16), suffira pour assurer la continuité des mesures.

Dans nos recherches sur l'électricité atmosphérique au sommet de la Tour Eiffel, nous nous sommes proposé d'enregistrer d'une manière continue les variations de la différence de potentiel entre l'armature de la Tour et un point situé à une certaine distance de sa surface. Or, à 1^m,70 de celle-ci, la valeur moyenne de cette différence, par beau temps, est d'environ 4000 volts et les

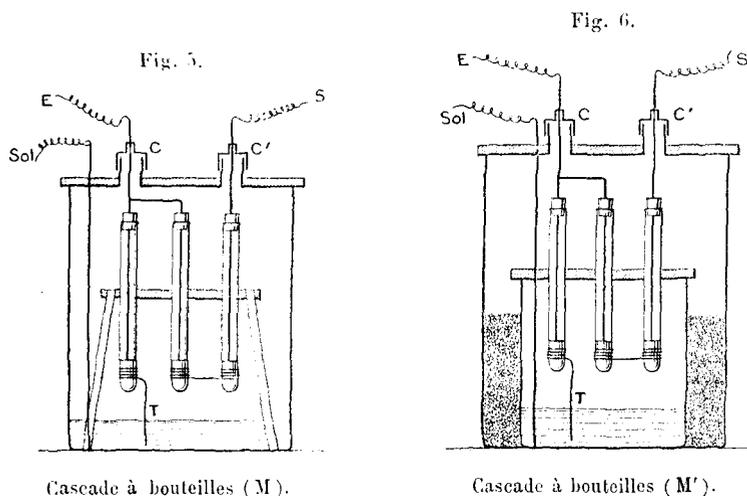
maxima diurnes atteignent et dépassent 5000 volts. Aucun autre instrument ne nous paraissant présenter les mêmes avantages que l'électromètre à quadrants, et surtout les mêmes garanties au point de vue de l'isolement, nous avons cherché un procédé indirect qui nous permet de l'utiliser pour la mesure de très hauts potentiels, sans sortir des limites assignées à son emploi.

Nous y sommes parvenu par l'artifice suivant :

On interpose, entre la source et l'électromètre, une cascade de petits condensateurs bien isolés. La première armature est reliée au collecteur, la dernière au sol, l'avant-dernière à l'électromètre. En faisant varier le nombre des éléments de la cascade, on peut ainsi donner à l'aiguille telle fraction que l'on veut du potentiel primitif.

Nous avons employé successivement deux formes très différentes de ces cascades de condensateurs.

Les premières (M) et (M') (*fig. 5 et 6*) sont composées d'un nombre impair



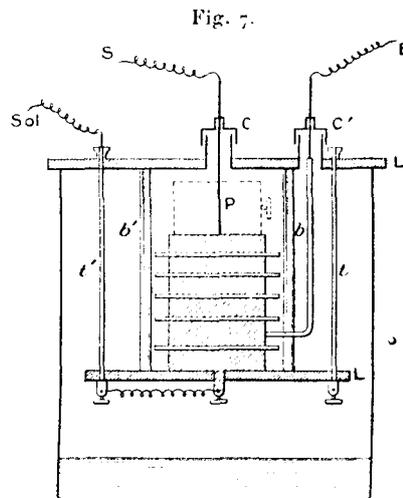
de petits tubes de verre, fermés à la partie inférieure et garnis au voisinage de ce fond d'une armature extérieure d'étain. L'armature intérieure est formée par du mercure. Ces tubes ont 10^{cm} à 12^{cm} de longueur, 5^{mm} à 6^{mm} de diamètre, et sont fixés par leur milieu dans une lame d'ébonite ou de paraffine.

Dans le modèle (M) (*fig. 5*), la lame d'ébonite est soutenue par trois baguettes de verre à l'intérieur d'un vase desséché par de l'acide sulfurique. Dans le modèle (M') (*fig. 6*), la lame isolante, en paraffine, forme le couvercle du vase contenant l'acide. Ce vase est entouré d'un second à parois plus hautes et l'espace compris entre les deux est rempli par de la ponce sulfurique.

Les liaisons sont faites comme l'indiquent les figures schématiques 5 et 6 pour des cascades de trois bouteilles.

La source étant en communication avec la première armature (intérieure) S,

la dernière armature (extérieure) T est mise au sol par l'intermédiaire de l'acide sulfurique et l'avant-dernière (intérieure) E est reliée à l'électromètre. Des fils fins de platine relient deux à deux les armatures extérieures. Les bouchons en ébonite qui ferment les tubes sont traversés par des tiges de laiton aux extrémités inférieures desquelles on a soudé des fils de platine plongeant dans le mercure. Le couvercle supérieur est en bois et deux petits chapeaux métalliques C et C', glissant sur les tiges S et E, recouvrent les orifices qu'elles traversent et empêchent la rentrée des poussières à l'intérieur de l'appareil.



Cascade à plateaux (M₁).

pareil. Les tubes doivent être choisis en verre vert et soigneusement nettoyés et desséchés avant l'introduction du mercure, qui doit être lui-même parfaitement sec et propre.

Montées avec les précautions convenables, ces deux cascades sont restées en service pendant plus de six mois, sans qu'aucune modification se manifestât, soit dans l'isolement des condensateurs, soit dans la *sensibilité* du système.

Bien que ces modèles nous aient donné tous deux d'excellents résultats, nous avons cherché à réaliser une disposition plus simple, d'un montage et d'un démontage plus rapides, et permettant de faire varier aisément le nombre des condensateurs suivant la grandeur des potentiels à mesurer.

Sous cette nouvelle forme (M₁) (fig. 7), la cascade a l'apparence d'une pile de Volta. Elle est constituée par une série de petits plateaux métalliques de 3^{cm} à 4^{cm} de diamètre, superposés et séparés par des lames minces, un peu plus larges, de verre, de mica ou de tout autre diélectrique. Chacun de ces plateaux, sauf le premier et le dernier, est une armature commune à deux condensateurs consécutifs. Le plateau supérieur est relié à la source S, le plateau inférieur au sol, l'avant-dernier à l'électromètre.

La pile, montée entre trois baguettes de verre b, b' , repose sur une lame d'ébonite L. Celle-ci est soutenue par trois tiges métalliques t, t' qui la relient à une autre lame de la même substance L' formant le couvercle d'un vase de verre au fond duquel on a mis de l'acide sulfurique. La communication avec le sol est établie par l'une des tiges t, t' . A cet effet, le plateau inférieur présente en son milieu une sorte de pédoncule, terminé par un serre-fil, qui traverse la lame d'ébonite L; la jonction avec la tige t' se trouve en dessous de cette lame. La stabilité de la colonne est assurée par ce pédoncule, par les baguettes de verre latérales b, b' et par l'effet du poids des disques, que l'on peut d'ailleurs augmenter en plaçant, au-dessus du plateau supérieur, une masse de plomb P.

Sur les deux faces de chaque lame isolante sont appliquées des feuilles d'étain circulaires, de même diamètre que les plateaux, et qui constituent, en réalité, les armatures des condensateurs. Les contacts avec le diélectrique sont ainsi meilleurs et les plateaux servent simplement de conducteurs entre deux armatures consécutives. On substitue avantageusement à ces feuilles d'étain des couches minces d'argent, déposées chimiquement à la surface des lames.

Les différents modèles de ces instruments utilisés dans nos recherches sont représentés figure 8 (*Pl. II*).

Quelle que soit la forme employée, il faut déterminer expérimentalement le *coefficient de réduction* de la cascade, c'est-à-dire la fraction du potentiel de la source recueillie sur l'avant-dernière armature. Cette détermination, qui se fait aisément à l'aide de deux électromètres reliés l'un à la source, l'autre à l'armature, est d'autant plus nécessaire que le coefficient de réduction semble varier avec le temps, quand la cascade est en service continu. Pour le premier de nos modèles (M), à cinq bouteilles, la valeur de ce coefficient était, au début, très sensiblement égale à 1 : 5; après six mois de fonctionnement, elle était devenue 1 : 4, 25. Nous avons constaté une semblable variation, dans le même sens, pour toutes nos cascades.

Examinons maintenant comment se comportent, dans la pratique, de tels systèmes de condensateurs.

Si l'on met en communication la première armature avec une source de potentiel constant et qu'on suive les indications d'un électromètre relié à la cascade, on constate que celle-ci met un certain temps à atteindre son état d'équilibre. Ce temps est variable avec la nature et l'état du diélectrique employé; il peut être de plusieurs heures pour des lames de verre épais ($1^{\text{mm}}, 5$), à surfaces nues et sur lesquelles les plateaux sont directement appliqués; il tombe à 20 minutes ou 30 minutes, si l'on argente la surface de ces lames, et se réduit enfin à moins d'un quart d'heure pour des lames de mica très minces, argentées ou étamées. L'équilibre est presque immédiatement atteint si l'on emploie des lamelles de verre de faible épaisseur ($0^{\text{mm}}, 3$ ou $0^{\text{mm}}, 4$ environ), semblables

aux couvre-objets des préparations microscopiques, à surfaces étamées. Le verre de ces lamelles est un assez médiocre isolant et la cascade se comporte alors comme une résistance, établie entre la source et le sol, et sur laquelle aurait lieu la prise de potentiel.

Cependant, malgré ce retard à la charge, quand le plein est fait, pour ainsi dire, et que le potentiel de la source varie, la cascade suit remarquablement bien ces variations; et, s'il s'agit de l'enregistrement de l'électricité atmosphérique, le défaut apparent qui résulte de la lenteur de la charge est, en réalité, un précieux avantage pour le dépouillement des observations. La cascade amortit, en effet, ces variations accidentelles qui rendent les pointés si difficiles, mais elle n'altère pas les valeurs moyennes. On en trouvera des exemples frappants dans les courbes de comparaison que nous reproduisons à la fin de ce Mémoire. Parmi celles-ci, nous signalerons les deux suivantes qui ont cet intérêt de se rapporter à la plus *lente* des cascades que nous ayons employées :

1^o *Journée du 2 au 3 décembre 1893 (Pl. VII).* -- La courbe supérieure est donnée par un électromètre directement relié au collecteur et dont la sensibilité est de 7,5 volts par millimètre d'ordonnée. La courbe inférieure est celle d'un second électromètre plus sensible relié à la cascade (M'); celle-ci, très paresseuse sous la forme qu'elle avait alors, présentait un retard à la charge certainement supérieur à 30 minutes. La valeur du millimètre résulte de la sensibilité de l'électromètre (3,5 volts) et du coefficient de réduction connu de la cascade (1:5,5); elle est, par suite, $3,5 \text{ volts} \times 5,5 = 19 \text{ volts}$. Les pointés, de demi-heure en demi-heure, ont été faits séparément sur les deux courbes, et l'aspect tourmenté de la courbe supérieure montre combien il est difficile d'estimer la valeur moyenne qui convient à chaque ordonnée. Or, c'est là précisément ce que donne la cascade et les valeurs du potentiel diurne moyen, fournies par les deux dépouillements, sont 332 et 331 volts.

Une aussi parfaite concordance est évidemment accidentelle, car deux séries de pointés faits sur la même courbe, par le même observateur, donnent aisément des écarts de 20 volts, soit 3^{mm} d'ordonnée, sur la valeur moyenne. Nous avons donc tenu à reproduire, comme confirmation d'un résultat qui pourrait paraître trop bien choisi dans la série de nos expériences, les courbes de la journée suivante, obtenues dans les mêmes conditions.

2^o *Journée du 3 au 4 décembre 1893 (Pl. VIII).* -- Les valeurs moyennes sont 456 volts pour la courbe directe, 473 volts pour celle de la cascade. L'écart de 17 volts correspond à une incertitude de 2^{mm},5 sur l'ordonnée moyenne de la première. Il est ici mieux en rapport avec les réelles difficultés du pointé de cette courbe très accidentée.

La cascade étant chargée, si l'on met au sol la première armature, l'électro-

mètre relié à l'avant-dernière ne revient pas immédiatement au zéro. Il faut, pour la décharge comme pour la charge de l'appareil, un temps variable avec la nature des lames isolantes. Toutefois, le phénomène semble se compliquer de l'effet d'un état électrique particulier, plus ou moins durable, acquis par le diélectrique sous l'influence prolongée des charges des armatures et qui paraît tout différent d'une simple électrisation superficielle.

Les expériences que nous avons entreprises sur ce sujet, et que nous avons dû momentanément interrompre, ne nous ont pas donné d'indications suffisamment nettes pour que nous puissions y insister ici. Nous nous bornerons à mentionner ce résultat, fréquemment vérifié, qu'avec un même diélectrique, le mica, l'état de la cascade restant le même, on peut obtenir sur l'avant-dernière armature, soit un résidu permanent positif, soit un résidu négatif, suivant la durée ou l'intensité de la charge communiquée par la source au premier condensateur; et nous rappellerons la remarque déjà faite que le temps modifie lentement, mais très nettement, le coefficient de réduction d'une cascade en service continu.

Nos essais n'ont porté que sur le verre et le mica. Ce dernier paraît particulièrement susceptible des modifications que nous venons d'indiquer et, malgré les avantages de son emploi, nous y avons renoncé pour des expériences continues aux potentiels élevés que l'on observe au sommet de la Tour Eiffel. Nous lui avons préféré le verre qui, dès le début, dans le premier modèle de nos cascades, nous avait donné de très bons résultats.

Pour ne laisser aucun doute sur la *valeur pratique de ce procédé de mesures dans les conditions où nous l'avons employé*, nous ne pouvons mieux faire que reproduire quelques-unes des courbes obtenues en enregistrant simultanément, sur la même feuille, les indications de deux électromètres de sensibilités différentes, reliés l'un et l'autre à la source, le premier directement, le second par l'intermédiaire de la cascade.

Les résultats parlent d'eux-mêmes et dispensent de toute discussion.

1. *Du 6 au 7 avril 1893 (Pl. V).* — C'est une des courbes d'essai de la première de nos cascades (M). Ici, c'est la courbe inférieure qui est obtenue directement. La cascade est reliée à un second électromètre de sensibilité neuf fois plus grande; son coefficient de réduction étant sensiblement 1:5, la sensibilité du système électromètre-cascade est encore supérieure, dans le rapport de 9 à 5, à la sensibilité de l'autre instrument.

Les lignes de zéro sont très rapprochées. On les a désignées par les lettres C pour l'électromètre de la cascade et S pour celui de la source.

Dans les reproductions suivantes, les lignes de zéro sont nettement séparées et la courbe inférieure est toujours celle que donne la cascade.

2. *Du 15 au 16 décembre 1893 (Pl. VI).* — Même cascade (M) après un service continu d'environ 5 mois à la Tour Eiffel. Elle est devenue un peu plus lente et le coefficient de réduction a changé (1:4, 25). Entre 4^h et 5^h de l'après-midi, on a mis les électromètres au zéro. A la reprise, le retard à la charge de la cascade apparaît nettement, et ce n'est qu'après 20 minutes environ que le rapport des ordonnées des deux courbes a repris sa valeurs moyenne 1,7.

3 et 4. *Du 2 au 3 et du 3 au 4 décembre 1893 (Pl. VII et VIII).* — Cascade (M) sous sa première forme. L'instrument est très paresseux; nous avons fait remarquer plus haut combien il donne avec exactitude, malgré ce défaut, la valeur moyenne diurne du potentiel.

5. *Du 9 au 10 avril 1895 (Pl. IX a).* — Cascade à plateaux (M₁) de cinq éléments avec lames de verre très minces étamées. La concordance des deux courbes est remarquable. Pas de retard à la charge appréciable, pas de résidu permanent. Mais, au point de vue pratique, il y a peut-être excès dans la perfection et l'un des avantages sur lesquels nous avons insisté, celui de la simplification des courbes, a disparu.

6. *Du 20 au 21 mars 1895 (Pl. IX b).* — Cascade à plateaux (M₁) de trois éléments, à lames de mica argentées. Mêmes qualités de sensibilité que la précédente, avec un très léger retard à la charge et un résidu permanent négatif. Pour la courbe inférieure, celle de la cascade, le trait horizontal ne représente pas exactement la ligne de zéro. Celle-ci est un peu en dessous, à 1^{mm}, 5 environ.



CHAPITRE III.

CONDITIONS D'INSTALLATION DES APPAREILS.

I. — Enregistreur du Bureau Central météorologique.

Les observations ont été commencées au mois d'août 1891.

L'appareil enregistreur est installé au second étage d'un corps de bâtiment dont la façade est orientée vers l'Est-Nord-Est. Le collecteur, placé près d'une fenêtre, allonge son tube d'écoulement sur une cour assez vaste et plantée d'arbres et d'arbustes nombreux. La toiture le domine d'environ 3^m. Au-dessous, à une distance de 5^m, s'étend le toit d'une galerie vitrée sur laquelle vient tomber le jet d'eau. La hauteur au-dessus du sol est de 10^m.

Ces conditions sont évidemment défectueuses et nous dirons, dans la seconde Partie de ce Mémoire, la valeur toute relative qu'il faut attribuer aux mesures ainsi faites dans un lieu d'observation qui n'est pas parfaitement dégagé et qui se trouve ici, par surcroît, au milieu d'une grande ville.

Toutefois, au début de nos recherches, les arbres les plus voisins, récemment plantés, étant alors complètement dominés par le tuyau d'écoulement, la situation de l'appareil, en raison de la hauteur au-dessus du sol, présentait quelques avantages dont nous pouvions juger par les valeurs relativement élevées du potentiel. Mais ces arbres ont grandi, déterminant une déformation progressive des surfaces de niveau, et les potentiels moyens sont aujourd'hui, et pour cette cause, sensiblement plus faibles que dans les premières années.

Nous avons dû nous assurer que la présence de ces arbres dans le voisinage du collecteur ne constituait pas une cause perturbatrice capable de modifier, soit dans leur allure générale, soit dans leurs détails, les courbes de l'enregistreur.

Pour cela, nous avons installé, dans des conditions tout à fait différentes, deux autres appareils qui, pendant près d'une année, ont fonctionné régulièrement en même temps que l'appareil ordinaire. Les trois séries de courbes

sont identiques, à quelques détails près, sur lesquels nous reviendrons (1). La situation du collecteur n'entraîne donc aucune autre influence que celle que nous avons signalée et qui se manifeste par la diminution progressive des potentiels moyens.

Mais les causes perturbatrices plus générales, provenant du milieu ambiant, n'en subsistent pas moins, et le véritable intérêt des observations faites au Bureau Central résulte de leur comparaison avec les observations au sommet de la Tour Eiffel. A ce point de vue, elles sont réellement instructives, car elles permettent de préciser les modifications qu'apporte, dans la variation diurne de l'électricité atmosphérique, l'influence propre du sol et des phénomènes qui se produisent à la surface.

Les électromètres et l'enregistreur se trouvent dans un cabinet noir complètement séparé de la salle du collecteur. L'enregistreur photographique est un appareil à horloge de M. Mascart. Nous n'avons pas à revenir ici sur la façon dont sont conduites les observations. Tous les détails nécessaires ont été donnés, à ce sujet, dans un précédent Chapitre.

La continuité des observations peut toujours être assurée pendant l'hiver, si l'on a soin de tenir la salle du collecteur en communication avec une pièce voisine chauffée et d'ajouter à l'eau une petite quantité d'alcool (2) quand le minimum de température s'abaisse jusqu'à -8° ou -10° . Aucune gelée n'est à craindre dans ces conditions, à moins que, par suite de l'obstruction de l'ajutage, un arrêt ne vienne à se produire dans l'écoulement. Pendant les périodes de froids rigoureux et prolongés, on devra, par suite, augmenter le débit.

II. — Enregistreur de la Tour Eiffel.

L'installation d'un enregistreur de l'électricité atmosphérique au sommet de la Tour Eiffel remonte au mois de septembre 1892. L'initiative de ce complément si désirable des observations météorologiques régulières poursuivies depuis 1889 est due, il convient de le rappeler, au Conseil municipal de la Ville de Paris. Le Bureau Central s'étant chargé de réaliser le vœu émis par cette Assemblée, le soin nous fut confié de ces observations nouvelles.

L'installation des appareils, dans les conditions que nous allons décrire, n'était pas sans présenter certaines difficultés matérielles que l'intensité, un peu inattendue, des phénomènes observés vint encore accroître. Nous avons

(1) Deuxième Partie, Chap. IV.

(2) 150^{cm} pour 50' environ. L'emploi de l'alcool dénaturé du commerce rend ce procédé peu dispendieux.

réussi à les surmonter grâce au concours obligeant du Service technique de la Tour et particulièrement de son chef, M. Milon, auquel nous sommes heureux d'exprimer ici nos remerciements.

Après une courte période de tâtonnements, les observations purent commencer le 7 septembre 1892. Elles furent continuées, sans interruption, jusqu'au 2 novembre, époque à laquelle les ascenseurs cessent de fonctionner. Depuis lors, elles ont été reprises chaque année pendant la belle saison. Il est malheureusement impossible de les poursuivre pendant l'hiver. Quels que soient la méthode et les appareils adoptés, une surveillance minutieuse et continue est indispensable et, malgré tout l'intérêt que l'on peut apporter à ces recherches, l'ascension quotidienne, en hiver, des 1700 marches qui conduisent au sommet est de nature à rebuter les plus dévoués observateurs.

On sera peut-être tenté de critiquer le procédé d'observation que nous avons employé. En cherchant ainsi à déterminer la différence de potentiel entre le sol, représenté par la masse métallique de la Tour, et un point situé à une certaine distance de sa surface, alors que cette différence est, pour 1^m par exemple, fréquemment supérieure à 4000 volts, outre la difficulté des mesures, nous nous trouvons dans la nécessité d'assurer, d'une manière continue et pour des potentiels considérables, l'isolement d'appareils en partie exposés à l'air libre.

Nous aurions probablement jugé ces difficultés insurmontables si nous les avions nettement prévues avant d'entreprendre nos recherches. Aucune mesure préalable n'avait été faite et, en plaçant le collecteur dans la situation qu'il occupe encore aujourd'hui et qui est telle que le jet reste compris à l'intérieur d'une surface fictive reliant le paratonnerre central aux paratonnerres latéraux de la terrasse du troisième étage, nous étions bien loin de nous attendre à des manifestations électriques aussi intenses.

Mais, ainsi que nous l'avons dit précédemment, l'absence de poussières à cette altitude accroît d'une façon extraordinaire les propriétés isolantes des supports habituels et contribue, surtout, à en assurer la durée. Les précautions que nous avons prises se sont trouvées plus que suffisantes et nous avons réussi, dès le début, à nous mettre à l'abri d'une cause d'erreur qui pouvait paraître inévitable. Et quand, par la suite, nous fûmes parvenu, d'une part, à assurer la mesure électrométrique de ces potentiels élevés, de l'autre, à réaliser un écoulement suffisamment constant pour donner au point exploré une position à peu près fixe, notre procédé expérimental s'est trouvé complet. Il nous paraît inattaquable et nous l'avons conservé parce qu'il a sur tout autre l'avantage d'une très grande simplicité dans l'installation et l'entretien des appareils, et

que cette condition est capitale pour obtenir un fonctionnement continu dans les conditions difficiles où nous devons opérer.

Le bassin métallique constituant le réservoir d'eau, enfermé dans une boîte en chêne solidement construite, est placé au-dessus de la plate-forme du troisième étage, à l'extrémité de l'un des quatre arceaux (arceau Ouest) qui soutiennent la lanterne du phare (*fig. 14, Pl. IV*). Il est à l'altitude de 285^m environ. Le tuyau d'écoulement s'allonge en dehors de la carcasse métallique de l'arceau, à 6^m au-dessus de la terrasse.

Celle-ci forme à cet endroit un pan coupé aux angles duquel sont fixés obliquement deux paratonnerres à pointes multiples. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, le jet collecteur reste très en deçà du plan déterminé par les pointes du paratonnerre central planté sur le sommet du phare et des paratonnerres latéraux voisins de l'appareil.

Immédiatement au-dessous de l'arceau, dans les constructions légères élevées sur la terrasse, un petit cabinet noir a été aménagé pour recevoir l'enregistreur et l'électromètre (*fig. 13, Pl. III*). Ce dernier est relié au collecteur par l'intermédiaire d'une tige métallique isolée qui traverse horizontalement la paroi de la chambre et à l'extrémité de laquelle vient se fixer, à l'extérieur, un fil métallique de plus de 5^m de longueur, entièrement à l'air libre, tendu entre cette tige et la fourchette de soutien du tuyau d'écoulement.

Le collecteur qui nous a servi pendant les trois premières années, de 1892 à 1894, était du modèle ancien dont nous avons parlé (Chap. I, p. 5). Il est représenté (*fig. 9, Pl. III*) avec la partie inférieure de la boîte où se trouvent placés les isolements sur lesquels il repose.

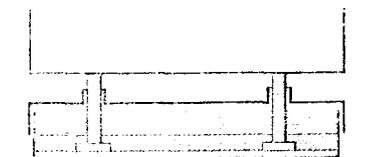
Le sommet de la Tour Eiffel étant fréquemment entouré de brumes épaisses, et la pluie, fouettée par les vents violents si communs à cette altitude, pénétrant par les plus légères fissures au point d'inonder complètement la boîte du collecteur, l'emploi des isolements à acide sulfurique nous avait tout d'abord paru impossible et nous avons fait usage, au début, pour isoler le bassin, d'un support au soufre et à la paraffine établi de la manière suivante :

Sur le fond d'une caisse plate en bois, carrée, de 45^{cm} de côté sur 8^{cm} de hauteur (*fig. 10*), on coule un lit de soufre d'une épaisseur de 1^{cm} environ. Après refroidissement, on dispose sur sa surface, suivant les sommets d'un triangle équilatéral, trois lames de verre épais servant de supports à trois tubes de verre verticaux, à parois un peu fortes et de 2^{cm} à 3^{cm} de diamètre. Une nouvelle couche de soufre recouvre les lames et la partie inférieure des tubes qui se trouvent ainsi solidement fixés dans le milieu isolant. On achève de remplir la

boîte en y coulant de la paraffine ⁽¹⁾. Les tubes, dont l'intérieur est rempli de la même substance, traversent le couvercle de la boîte et le dépassent de 2^{cm} à 3^{cm}. Le bassin repose directement sur leurs extrémités.

Cette disposition nous a donné de très bons résultats. Pendant toute la saison de 1893, du 1^{er} mai au 2 novembre, l'isolement est resté parfait sans que la

Fig. 10.



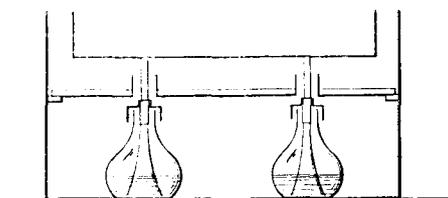
Isoloir à la paraffine.

surface de la paraffine ait été renouvelée. Elle était nette de toute poussière au moment du démontage de l'appareil, six mois après la mise en place.

L'emploi d'un tel support ne présente pas les mêmes avantages au voisinage du sol. Quelles que soient les précautions prises, l'accès des poussières est inévitable; il faut alors renouveler fréquemment la surface de la paraffine. Cette opération, qui consiste à gratter la surface du gâteau pour y couler ensuite une nouvelle couche mince de paraffine bien propre, est certainement très simple, mais elle ne l'est pas sensiblement plus que la remise en état d'isoloirs à acide sulfurique, à laquelle il suffit de procéder deux fois par an.

Au commencement de la saison de 1894, pour varier les conditions de l'expérience et par curiosité du résultat, nous avons substitué au support

Fig. 11.



Isoloirs à acide sulfurique.

à la paraffine les isoloirs ordinaires à acide sulfurique. Trois de ces isoloirs furent placés au fond de la boîte du collecteur et séparés de celui-ci par une planchette épaisse qui ne laissait passer que les extrémités de leurs

(1) La paraffine que nous avons employée est celle dont s'est servi M. Boudréaux dans la construction de ses appareils d'électricité statique. Elle est assez sèche et compacte, ni brute, ni très raffinée, comme l'est, par exemple, la paraffine destinée aux préparations microscopiques. Elle doit être fondue dans des vases de verre ou de porcelaine bien propres, et coulée à une température qui ne soit pas trop éloignée de son point de fusion.

tiges (*fig. 11*). Le bassin eût été ainsi soutenu dans le cas de la rupture de l'un des isoloirs, et ceux-ci se trouvaient mieux protégés contre les infiltrations de pluie dues aux rafales du vent. A notre étonnement, malgré le grand nombre de jours pluvieux de l'été de 1894, qui fut exceptionnellement humide, les isoloirs purent rester en service pendant six mois et l'acide sulfurique, introduit à 65^h, 5 environ, le 5 mai, marquait encore plus de 60^h à l'aréomètre quand l'appareil fut démonté, le 3 novembre.

Après cette épreuve, et bien que l'isolement obtenu ne fût pas sensiblement supérieur à celui que nous donnait l'ancien support à la paraffine, nous avons continué à employer les isoloirs en verre à tubulures latérales et chapeaux métalliques de forme haute, tels qu'ils sont représentés sur les figures 2 et 12 (*Pl. I et III*).

Les inconvénients résultant de la variation de longueur du jet, et sur lesquels nous avons insisté (Chap. I, p. 6), sont particulièrement sensibles au sommet de la Tour Eiffel où le vent, dont l'intensité varie dans des limites plus étendues, peut déterminer la dispersion des gouttelettes liquides à des distances très variables de l'extrémité du tuyau d'écoulement.

Dans la première série de nos expériences, pendant les mois de septembre et d'octobre 1892, après une installation un peu hâtive, nous eûmes à constater, dès le début, l'existence de la *déviaton limite* de l'électromètre. Pour rester dans la limite des potentiels directement mesurables, c'est-à-dire inférieurs à 2500 volts environ, il nous fallut employer un tube court, dépassant de 25^{cm} à 30^{cm} la surface métallique, de telle sorte que la dispersion du jet se fit à 45^{cm} ou 50^{cm} au plus de cette surface. Or, par le seul effet du vent, la longueur de la veine liquide pouvant varier de 20^{cm} à 5^{cm}, les variations correspondantes dans la position du point exploré atteignaient le tiers de la distance moyenne. Des observations continues, effectuées dans ces conditions, n'avaient évidemment aucune valeur.

L'effet de ces variations peut être atténué en employant des tubes de longueur assez grande, et cela d'autant mieux que les surfaces équipotentiellles, très serrées au voisinage de la Tour, s'espacent rapidement quand on s'en éloigne. Mais la valeur moyenne du potentiel à 1^m,75 ou 1^m,80 de la surface est supérieure à 4000 volts et les maxima par beau temps peuvent dépasser 5000 volts.

Après avoir vainement cherché à réaliser un instrument de mesures qui, tout en conservant les qualités indispensables d'isolement et de symétrie, fût applicable à l'enregistrement de ces potentiels élevés, nous avons enfin réussi, par l'emploi des condensateurs en cascade, à utiliser l'électromètre ordinaire. L'usage de longs tubes d'écoulement devenait possible, et c'est par ce procédé que nous avons pu, l'année suivante, reprendre nos recherches, cette fois

dans des conditions satisfaisantes. Elles furent d'ailleurs favorisées par la sécheresse extraordinaire du printemps et de l'été de 1893 et par la fréquence des journées calmes et de ciel pur dans ces deux saisons.

En 1894, la seule modification apportée à notre dispositif expérimental fut la substitution des isoloirs à acide sulfurique au support à la paraffine. Les pluies fréquentes, les vents violents, des froids précoces firent cette campagne un peu pénible et moins fructueuse que la précédente. Elle nous permit du moins de bien apprécier la valeur pratique de nos appareils au point de vue de l'isolement. D'autre part, les résultats généraux relatifs à la variation diurne confirmèrent, autant qu'il était possible de l'espérer avec un régime saisonnier aussi différent, ceux de 1893.

En augmentant la longueur du tuyau d'écoulement, nous avons atténué, sans la faire disparaître, la cause d'erreur qui provient de la variation de longueur du jet. Nous nous sommes préoccupé, pour la saison de 1895, d'améliorer, sous ce rapport, l'état de notre appareil et nous avons substitué au collecteur ordinaire le collecteur à écoulement constant que nous avons décrit (Chap. I, p. 6). Les dimensions en ont été légèrement modifiées, de façon à le réduire à la fois en hauteur et en largeur, et la longueur du tube vertical n'est plus qu'une fois et demie, environ, la profondeur du bassin. Dans ces conditions, on assure encore, d'une façon suffisante, un écoulement à peu près régulier.

Cet appareil est représenté (*fig. 12, Pl. III*). Il est, comme l'ancien collecteur, enfermé dans une boîte en chêne, solide et bien ajustée, formée de plusieurs morceaux facilement démontables pour permettre, au besoin, le renouvellement des isoloirs sans déplacer le bassin. Il suffit de soulever celui-ci sur les tiges métalliques verticales mobiles dans des écrous fixés au support et qui alternent avec les isoloirs. En 1895, de même qu'en 1894, cette opération a été inutile et les isoloirs, mis en place au commencement de juin, se sont conservés en très bon état jusqu'au 2 novembre.

Une autre amélioration importante a été réalisée en remplaçant l'ajutage à jet unique par un ajutage à trois ou cinq orifices très étroits. Nous avons indiqué (Chap. I, p. 6) les avantages de cette disposition.

Cette double modification de la forme du collecteur et de l'ajutage, en donnant au point exploré une position sensiblement fixe, permettait de revenir à l'emploi de tubes courts et d'utiliser directement l'électromètre à la détermination de potentiels moins élevés. Nous avons alors cherché, dans les derniers mois de la saison de 1895, à contrôler par des mesures directes celles que nous avons effectuées avec les condensateurs en cascade. Nous tenions à mettre ainsi à l'abri de toute critique le procédé expérimental jusqu'alors employé.

Depuis cette époque, pour avoir une série un peu longue dans des conditions identiques, nous avons continué à opérer à de faibles distances de l'armature de la Tour, et les observations de 1896, 1897, 1898 et 1899 ont été faites avec des tubes courts. Les mesures directes étant devenues possibles, nous n'avions plus de raison pour conserver à l'appareil la complication du condensateur, malgré ses avantages pour le dépouillement des observations. Il était d'ailleurs nécessaire, pour la comparaison complète des courbes fournies simultanément par les deux enregistreurs du Bureau Central et de la Tour Eiffel, que les deux instruments de mesures fussent semblables et que l'un d'eux n'amortit pas plus que l'autre les variations accidentelles.

L'appareil à écoulement, dans la situation qu'il occupe à la Tour Eiffel, se comporte, en somme, comme une machine électrostatique donnant des étincelles de 1^{mm} à 3^{mm} et dont le débit, quoique très faible, serait suffisant pour agir sur un galvanomètre sensible. Un calcul approximatif permet de s'en rendre compte.

En employant un tube de 3^m à 3^m, 50, la valeur moyenne diurne du potentiel, par beau temps, est voisine de 6000 volts = 20 unités électrostatiques C.G.S. D'autre part, la capacité du collecteur, notablement accrue par la boîte qui forme enveloppe, est certainement supérieure à celle d'une sphère de 1^m de rayon : supposons $C = 100$. La charge de l'appareil est alors exprimée par

$$Q = 20 \times 100 = 2000 \text{ unités électrostatiques C.G.S.}$$

Avec un écoulement de trois litres à l'heure par un ajutage à jets multiples très fins, le temps nécessaire à cette charge, estimé par l'intervalle entre deux étincelles, est à peu près de 1 minute. Il s'ensuit, pour le débit électrique par seconde,

$$I = \frac{2000}{60} = 33 \text{ unités électrostatiques C.G.S.} = \frac{33}{3} 10^{-9} \text{ ampères,}$$

soit 1:100 de microampère environ. Or, un bon galvanomètre de Thomson peut accuser 1:1000 de microampère par une déviation de 40^{mm} ou 50^{mm} sur une échelle divisée placée à 1^m.

Il était donc possible, au moins en apparence, d'enregistrer les déviations galvanométriques, et les résultats, bien que dépourvus de signification précise, auraient pu être parfois intéressants, notamment pendant les orages qui, presque toujours, mettent l'électromètre hors de service par suite de la rupture du bifilaire. En réalité, les oscillations de la Tour et le peu de stabilité des supports constituaient un obstacle qui nous a paru insurmontable à l'emploi d'un galvanomètre de grande sensibilité, en service continu.

La figure 13 (*Pl. III*) (1) montre la disposition intérieure de la très petite salle où se trouve placé l'enregistreur.

L'électromètre est l'instrument à aiguille lourde (10⁶r) dont nous avons parlé. L'écart des brins du bifilaire sur le crochet de l'aiguille est de 6^{mm}. On règle la sensibilité par l'écart de ces brins à la partie supérieure de la suspension et par le nombre des éléments de la pile de charge. Il est bon, toutefois, en raison de la grandeur des potentiels à mesurer, que les potentiels des paires de secteurs ne soient pas inférieurs à ± 50 volts.

Une pile de 200 éléments au sulfate de magnésie, dont le milieu est au sol, sert à la fois à la charge des secteurs et à la graduation de l'électromètre. On fait cette graduation de la manière suivante : les deux paires de secteurs sont mises en communication avec les deux pôles de la pile; puis on relie successivement chacune d'elles à l'aiguille. Les déviations enregistrées correspondent à ± 100 éléments pour une différence de potentiel de 200 éléments entre les secteurs. On en déduit, par un simple rapport, celles que l'on aurait obtenues pour la différence de potentiel employée en service courant.

Ce procédé est peu précis et la force électromotrice de comparaison devrait être de même ordre de grandeur que les potentiels à mesurer. Mais les incertitudes de pointé qui résultent de l'allure accidentée des courbes ne permettent pas, en moyenne, une approximation supérieure à $\frac{1}{30}$ de la longueur de l'ordonnée, soit environ 70 volts pour 2000. Dans ces conditions, la recherche d'une grande précision dans la graduation de l'électromètre serait illusoire, et nous avons simplement fait en sorte que les erreurs possibles de ce chef soient plus petites que celles qui proviennent du mode de dépouillement des observations.

L'enregistreur proprement dit est le cylindre de Richard dont nous avons indiqué la disposition (Chap. I, p. 9). L'instrument est très simple, d'une installation et d'une manipulation faciles. Sa marche régulière assure une détermination suffisamment exacte des lignes horaires par la connaissance des heures du début et de la fin de l'enregistrement. Nous avons d'abord essayé de nous servir d'un enregistreur à horloge de M. Mascart; mais les oscillations du sommet de la Tour, si faibles qu'elles soient, sont assez sensibles, par un vent moyen, pour troubler le mouvement du balancier et la marche de l'horloge est incertaine.

On voit sur la figure 13, à gauche, l'enregistreur et sa lampe; à droite, les piles en quatre groupes de 50 éléments; au centre, l'électromètre et l'un des modèles

(1) Cette figure est la reproduction d'une photographie prise de la porte de la salle, à la lumière du magnésium, avec un très bon objectif grand angulaire. L'exiguïté du local rendait cette opération assez délicate; la distance du fond de la salle à l'objectif était, en effet, inférieure à 2^m. Ces difficultés ont été surmontées de la façon la plus heureuse par notre assistant, M. Bigot, auquel nous devons cette belle épreuve.

de cascades (M) que nous avons décrits; au-dessus et près de la paroi, le support isolant qui relie l'électromètre au fil extérieur. Le second électromètre que l'on aperçoit en arrière du premier est un instrument plus sensible qui nous servait alors pour des recherches sur l'électrisation propre de l'air, dont nous indiquerons les résultats dans une autre partie de ce Mémoire.

La figure 14 (*Pl. IV*) indique la situation du collecteur dont on aperçoit la boîte sur le pilier Ouest, à la base et au milieu de l'armature de l'arceau qui surmonte ce pilier. Le tube d'écoulement se distingue à peine. Il en est de même de la tige métallique qui traverse la paroi de la salle de l'enregistreur et à laquelle vient se rattacher un long fil de cuivre relié au bassin à sa partie supérieure. On voit plus nettement, en arrière de la balustrade, un des paratonnerres latéraux à pointes multiples qui flanquent la terrasse du troisième étage.

Telles sont les conditions générales de l'installation de l'appareil enregistreur de l'électricité atmosphérique au sommet de la Tour Eiffel. Les observations, assez simples en apparence, exigent, en réalité, pour être poursuivies sans lacunes, une surveillance minutieuse. L'intensité des phénomènes observés, d'une part, de l'autre, la fréquence des vents violents, des brouillards ou des nuages, de la pluie, ainsi que les oscillations sensibles de la Tour, rendent nécessaires de fréquentes vérifications de l'état des instruments.

La partie matérielle de ces opérations n'est pas d'ailleurs exempte de certaines fatigues. Le remplissage quotidien du bassin, par les mauvais temps de printemps et d'automne, est souvent pénible et la manœuvre du robinet d'écoulement, en dehors de l'armature de l'arceau, est assez malaisée. Pour mener à bonne fin les recherches entreprises, nous avons très heureusement trouvé dans notre assistant, M. Bigot, un collaborateur dont nous ne saurions trop louer l'habileté et le dévouement.

III. — Interprétation des résultats. Valeur approximative du champ au voisinage du sommet de la Tour.

Pour interpréter exactement les résultats de nos observations à la Tour Eiffel et leur comparaison avec les observations du Bureau Central, la remarque suivante est nécessaire.

Dans les deux stations, les appareils collecteurs, situés le long de parois verticales, donnent respectivement les différences de potentiel entre le sol et les deux surfaces de niveau, horizontales au-dessus d'un sol plan et d'altitudes h et H , qui, en se relevant le long des parois, passent par les points explorés.

La hauteur h , correspondant à l'appareil du Bureau Central, ne peut être

déterminée exactement à l'intérieur de Paris; mais, d'après l'ensemble des mesures directes connues, elle est certainement voisine de 2^m. En effet, les valeurs du champ par mètre au voisinage du sol, obtenues dans nos régions par divers observateurs, et notamment par M. Exner et par MM. Elster et Geitel, semblent donner en moyenne, pour la saison d'été, de 70 à 80 volts. Or, dans les observations du Bureau Central (pour une distance du point exploré à la paroi de 1^m,40), la moyenne diurne d'été est de 134 volts. C'est le potentiel moyen de la surface de niveau horizontale qui s'étendrait à 1^m,80 au-dessus d'un sol plan.

D'autre part, si l'on suppose le champ constant jusqu'à l'altitude H (hypothèse que nous dirons plus tard inexacte et que nous n'employons ici que comme approximation), le rapport $\frac{H}{h}$ sera donné par le rapport des potentiels moyens constatés dans les deux stations. La moyenne diurne d'été à la Tour Eiffel (à 0^m,55 de la paroi) étant 2140 volts, on a $\frac{H}{h} = 16$ et, par suite, H = 29^m environ. Ainsi, le potentiel moyen observé à la Tour Eiffel, à 285^m d'altitude et à 0^m,55 de la paroi, est à peu près celui que donnerait un point d'exploration isolé dans l'air libre à une trentaine de mètres au-dessus du sol.

Il n'en résulte pas que *les variations* indiquées par l'appareil de la Tour soient celles que l'on observerait à cette altitude de 30^m. Supposons, en effet, qu'en dehors des influences d'ordre général agissant également sur la marche du potentiel aux deux stations et dont l'action se traduit par un simple déplacement des surfaces de niveau, sans déformation de ces surfaces, une cause perturbatrice intervienne, émanée du sol, telle qu'elle résulterait, par exemple, de poussières électrisées s'élevant de sa surface. Si l'appareil placé au sommet de la Tour n'accuse pas cet effet perturbateur, comme les surfaces de niveau, invariables près de ce sommet, se sont déformées au-dessus du sol jusqu'à l'altitude inconnue à laquelle la perturbation cesse de se faire sentir, tout ce que l'on peut conclure avec certitude, c'est que cette altitude est inférieure à celle de l'appareil. En admettant que le voisinage de la paroi n'ait aucune influence propre (¹), nous dirons simplement que la variation diurne constatée à la Tour Eiffel est celle que l'on observerait en un point isolé dans l'air libre à une hauteur moindre que 300^m.

Les surfaces de niveau, extrêmement serrées au voisinage de la Tour, vers son sommet, s'espacent rapidement quand on s'en éloigne; le champ varie donc

(¹) La discussion des observations nous montrera que cette supposition n'est pas absolument exacte et que, du moins pendant le jour et sous l'influence probable du rayonnement solaire, une influence du voisinage de la paroi semble manifeste.

très vite dans ce voisinage. Les différences de potentiel entre les parties de l'armature proches de notre appareil et un point situé dans l'air à une distance d peuvent être évaluées, d'après nos mesures, à :

2000 volts	pour	$d = 0,50^m$
3000 "	pour	$d = 1,00$
4000 "	pour	$d = 1,70$

Pour la distance $d = 1^m,40$, employée au Bureau Central, on aurait ici environ 3700 volts. Si l'on tient compte de la variation très rapide du champ, il semble que l'on puisse considérer celui-ci, au voisinage immédiat du sommet de la Tour, comme étant au moins cent fois plus fort qu'au voisinage du sol.

La densité électrique croît dans le même rapport et la *tension* comme le carré; on aurait par suite, pour cette dernière, une valeur voisine de 0,005 unité C.G.S. C'est la valeur en dynes de la force répulsive exercée sur une surface de 1^{cm^2} appliquée le long de l'armature; elle est d'un ordre de grandeur qui ne paraît pas inaccessible à l'expérience.

SECONDE PARTIE.

ÉTUDE DE LA VARIATION DIURNE.

La détermination précise de la variation diurne paraît être actuellement l'objet le plus important de toute série d'observations régulières sur l'électricité atmosphérique.

C'est, en effet, par la connaissance de cette variation et par sa comparaison avec les variations simultanées des autres éléments météorologiques que l'on peut espérer saisir le plus aisément, s'ils existent, les liens reliant entre eux des phénomènes qui ne sont peut-être que des manifestations d'une même cause, mais qui peut-être aussi sont d'origines différentes et n'ont de commun que leur champ d'action, l'atmosphère. D'autre part, toute théorie, pour être acceptable, doit l'expliquer, et la variation diurne fournit une donnée fondamentale pour la discussion des nombreuses hypothèses émises sur l'origine du champ électrique terrestre. Il est donc indispensable d'en connaître exactement les lois.

Cette connaissance est loin d'être acquise; car, non seulement les observations utilisables sont peu nombreuses, mais la plupart ont été faites dans des conditions défectueuses au point de vue de l'installation des appareils. L'influence des grandes agglomérations, au milieu desquelles sont souvent situés les Observatoires, est incontestable, nous en donnerons la preuve, et les résultats ainsi obtenus sont aussi suspects que le seraient des observations de température prises au long d'un mur et sans abri.

En outre, les variations accidentelles dans l'état électrique de l'air sont si nombreuses et si importantes, que les observations discontinues sont notoirement insuffisantes pour l'étude de la variation diurne. Dans l'intervalle de quelques minutes, le potentiel peut varier du simple au double : quelle valeur attribuer, dans ces conditions, à une mesure isolée ? Il est de toute nécessité de pouvoir évaluer l'état électrique moyen pendant chaque heure, ou même, comme nous le faisons dans nos observations, pendant chaque demi-heure ; pour cela, l'emploi des enregistreurs est indispensable.

Enfin, les moyennes publiées par un certain nombre d'observateurs comprennent indistinctement les résultats de toutes les journées, troublées et calmes, et les valeurs négatives aussi bien que les valeurs positives du potentiel. C'est, à notre avis, une complication regrettable dans l'étude d'un phénomène où les causes perturbatrices interviennent avec autant d'intensité. On doit au contraire, croyons-nous, rechercher les conditions les plus simples, et c'est la variation diurne par ciel serein et temps calme qu'il convient de déterminer tout d'abord.

CHAPITRE I.

VARIATION DIURNE AU VOISINAGE DU SOL.

I. — Historique et Bibliographie.

La variation diurne de l'électricité atmosphérique, soupçonnée dès le début par Lemonnier (1752), fut nettement mise en évidence par de Saussure et par Schübler. De Saussure (1) signala l'existence de deux maxima et de deux minima, les premiers suivant de quelques heures et les seconds précédant le lever et le coucher du Soleil. Schübler (2) obtint un résultat analogue et le précisa en indiquant, pour chaque mois, les heures des maxima et des minima.

Quetelet, dont les procédés d'observation étaient meilleurs et qui fit constamment usage de la méthode et de l'électroscope de Peltier, paraît s'être peu préoccupé de l'étude de la variation diurne. Il exécuta cependant, en août 1842, à diverses reprises et par de belles journées de ciel serein et temps calme, des mesures horaires qui lui donnèrent, pour les maxima, 8^h du matin et 9^h du soir, et pour le minimum de jour, 3^h de l'après-midi; le minimum de nuit ne fut pas déterminé (3). Les heures données par Schübler, pour le même mois, sont 7^h, 30 du matin et 8^h, 30 du soir pour les maxima, 2^h de l'après-midi et 5^h du matin pour les minima.

Vers la même époque, des observations régulières étaient entreprises à l'Observatoire de Kew par W.-R. Birt (4). Elles furent poursuivies pendant 5 années (1843 à 1848); durant les trois dernières, les lectures étaient faites toutes les deux heures, de jour et de nuit, ainsi qu'au lever et au coucher du Soleil. Birt employait la méthode du conducteur fixe, et, bien que des précautions minutieuses fussent prises pour assurer l'isolement des appareils, les mesures par ce procédé restent douteuses et ne sont pas suffisamment comparables entre elles.

(1) *Voyage dans les Alpes*, t. II, 1786, p. 221.

(2) *Journal de Schweigger*, t. III et VIII.

(3) *Bulletin de l'Académie des Sciences de Bruxelles*, t. XVI, 1849, et *Annuaire météorologique de la France pour 1850*, p. 173.

(4) *Report of the British Association*, 1849, p. 113 à 199.

I. — *Mémoires de 1900*.

Néanmoins, les résultats obtenus sont intéressants et le volumineux Mémoire qui les résume est, au point de vue de l'accumulation des faits, un des plus complets que nous connaissions.

Wislicenus ⁽¹⁾ à Saint-Louis du Canada, J.-D. Everett ⁽²⁾ à Windsor (Nouvelle-Écosse) ont étudié la variation diurne par des observations horaires. Les mesures de M. Everett, obtenues avec un collecteur à écoulement d'eau de Thomson et dans des conditions d'installation qui semblent bonnes, sont à retenir; toutefois, elles ne sont pas absolument régulières et manquent complètement de minuit à 6^h du matin.

Les expériences exécutées à Naples par Palmieri, à l'aide de son conducteur mobile, et par le P. Secchi à Rome, n'ont rien ajouté aux résultats antérieurement acquis. Il faut, au contraire, signaler la série d'observations instituée à Moncalieri par le P. Denza ⁽³⁾ en 1867 et continuée jusqu'en 1878. L'appareil était celui de Palmieri, dont la supériorité sur le conducteur fixe est incontestable. Les mesures régulières, faites six fois par jour, sont insuffisantes pour déterminer la variation diurne; mais, au cours d'une période de 8 ans, 215 journées complètes d'observations horaires furent recueillies et constituent un ensemble dont les moyennes ont une réelle valeur, malgré les réserves que comporte encore la méthode de mesure employée.

L'enregistrement continu des variations du potentiel en un point avait été organisé en 1861 à l'Observatoire de Kew par W. Thomson. M. J.-D. Everett entreprit l'étude des résultats fournis par le nouveau procédé d'observation. Les moyennes de 2 années, de juin 1862 à mai 1864, furent discutées par ce physicien dans un Mémoire très important ⁽⁴⁾, qui donne, en outre, la comparaison des données obtenues à Kew avec celles qu'avait recueillies le même observateur dans la Nouvelle-Écosse, de 1862 à 1865.

Mais le dépouillement des courbes de l'enregistreur est assez pénible; d'autre part, plusieurs interruptions semblent s'être produites, depuis 1864, dans les observations. Les recherches de M. Everett ne furent pas poursuivies et les moyennes d'une seule année (1880) ont été publiées depuis par M. G.-M. Whipple ⁽⁵⁾.

A l'Observatoire royal de Greenwich, les observations étaient faites, jusqu'en 1877, par l'ancien procédé de Beccaria, à l'aide d'un fil explorateur de 400 pieds

⁽¹⁾ *Transactions of the Acad. of Sciences of Saint-Louis*, 1863 à 1866.

⁽²⁾ *Proceed. Roy. Soc.*, XII (1863), XIV (1865) et XVI (1868); *Philos. Trans.*, 1868, p. 347.

⁽³⁾ *Sur les lois de la variation diurne de l'électricité atmosphérique à Moncalieri*, Congrès de l'Assoc. Scient., Alger, 1881; et *Atti del. R. Accad. d. Sc. di Torino*, t. XV, 11 janvier 1880.

⁽⁴⁾ *Results of observations of atm. electricity at Kew Observatory, and at King's College, Windsor, Nova Scotia* (*Phil. Trans.*, 1868, p. 347).

⁽⁵⁾ *Observations of atm. electricity at Kew Observatory during 1880* (*Report of the British Association*, 1881, p. 443).

de longueur. En 1878, un enregistreur de Thomson, semblable à celui de Kew, remplaça cet appareil, et, depuis 1879, les moyennes de chaque jour et de chaque heure du jour, pour les différents mois, sont publiées dans les Annales de l'Observatoire (1). Malheureusement, les mesures ne sont pas réduites; elles représentent les déviations estimées sur une échelle arbitraire de l'enregistreur, et, dans l'usage ordinaire de l'électromètre de Thomson, ces déviations ne sont pas proportionnelles aux potentiels. Rien n'indique en outre que d'une année à l'autre, par exemple, elles soient entièrement comparables. Les observations ne sont donc utilisables que pour indiquer l'allure générale de la variation diurne à Greenwich. Nous verrons combien elles sont intéressantes à ce point de vue.

En 1877, deux autres enregistreurs étaient installés, l'un au Collège de France par M. Mascart, l'autre à l'Observatoire de Lisbonne par M. Brito-Capello.

Les observations du Collège de France, poursuivies jusqu'en 1893, n'ont été dépouillées que partiellement par M. Moureaux. Nous donnerons les résultats de ce travail, qui n'a pas été publié. Quant à celles de Lisbonne, dont les Tableaux figurent dans les *Annales de l'Observatoire de l'Infant Don Luiz* (2) de 1877 à 1881, puis de 1884 à 1887, elles semblent un peu suspectes par suite de l'insuffisance des procédés d'isolement. La première série de 5 ans est même, pour cette raison, sans aucune valeur; mais la seconde, remarquable par la concordance des moyennes de chaque année, doit, au contraire et malgré les réserves faites, être prise en sérieuse considération.

A Florence, 3 années d'observations, de 1883 à 1886, avec un enregistreur de M. Mascart, sont dues à MM. Ròiti et Pasqualini (3). M. Magrini (4) en a calculé les moyennes. Les soins minutieux apportés par MM. Ròiti et Pasqualini à l'installation des appareils et les nombreuses recherches expérimentales faites par ces physiciens sur l'électricité atmosphérique donnent un intérêt particulier à ces observations, bien qu'elles soient coupées en séries trop courtes et que les résultats publiés par M. Magrini comprennent indistinctement toutes les valeurs positives et négatives du potentiel.

En France, après l'organisation des Services du Bureau Central météorologique et sous l'impulsion donnée par les premières recherches de M. Mascart, des observations continues furent instituées dans les Observatoires du Parc Saint-

(1) *Greenwich magnetic and meteorological observations.*

(2) *Annaes do Observatorio do Inf. D. Luiz*, 1877 et années suivantes.

(3) *Osservazioni continue del. elettr. atmosf. institute a Firenze dal prof. Ant. Ròiti ed Luigi Pasqualini (Publicaz. d. R. Inst. di Studi sup. in Firenze, 1884 et 1885) et Journal La Lumière électrique*, t. XIII, p. 463, et t. XIX, p. 226.

(4) *Osserv. cont. del. elettr. atm. fatte in Firenze negli anni 1883, 1884, 1885, 1886 (Publ. d. R. Inst. in Firenze, 1888).*

Maur (1883), de Nantes (1883), de Perpignan (1882), de Lyon (1885) et plus récemment au Bureau Central même (1891). De 1891 à la fin de 1893, époque à laquelle s'arrêtent les observations du Collège de France, deux enregistreurs ont ainsi fonctionné simultanément à Paris, dans des conditions analogues.

A Nantes, aucun travail de dépouillement n'a été fait et le fonctionnement des appareils a probablement présenté de nombreuses irrégularités. Les courbes du Parc Saint-Maur n'ont été dépouillées que pour un petit nombre d'années; M. Moureaux a bien voulu nous en communiquer les moyennes. Les deux séries de Lyon et de Perpignan sont complètes. Pour la première, M. André (1) a donné les résultats des 6 premières années dans son Mémoire sur les relations générales des divers éléments météorologiques. Pour la seconde, les observations, faites sous la direction de M. le Dr Fines, sont régulièrement publiées, depuis 1885, par la Commission météorologique du département (2).

Enfin, nous devons signaler encore les observations de MM. Elster et Geitel (3) à Wolfenbüttel et au sommet du Sonnblick, celles des professeurs Tacchini et Cancani (4) au Collège romain et à l'Observatoire de la Rocca di Papa.

Toutes les recherches précédentes se rapportent aux régions tempérées. Les observations que nous avons citées de M. Wislicenus à Saint-Louis du Canada et de M. Everett dans la Nouvelle-Écosse permettent de croire que, dans des conditions climatologiques analogues, la variation diurne est sensiblement la même. On peut y joindre les données recueillies en 1858 à Melbourne par M. Neumayer (5). Leur accord est passable avec les résultats obtenus en Europe.

En est-il de même dans les régions équatoriales et dans les régions polaires?

Pour ce qui concerne les régions équatoriales, en dehors de quelques observations intéressantes, mais de trop courte durée, telles que celles qui ont été exécutées par M. Exner (6) à Ceylan et à Louxor, et par M. Michie Smith (7) dans la région de Madras, et qui sont tout à fait insuffisantes pour caractériser la variation diurne, il n'existe, à notre connaissance, qu'une seule série régulière d'observations, commencée en 1887 à l'Observatoire de Batavia et qui depuis n'a été que passagèrement interrompue.

(1) *Relations des phénomènes météorologiques déduites de leurs variations diurnes et annuelles*, Lyon, 1892.

(2) *Bulletin météorologique des Pyrénées-Orientales*.

(3) *Sitzungsb. Akad. Wien*, t. XCVIII, 1889; t. XCIX, 1890; t. CI, 1892; t. CII, 1893, et t. CIV, 1895.

(4) *Rend. Acc. dei Lincei*, t. V et VI, et *Elettricista*, t. V, 1896, et t. VI, 1897.

(5) *Some facts illustrative of the meteorology of the month of August (Trans. Phil. Inst. of Victoria)*, t. III, 1858, et *Discussions of the meteor. and magn. observations made at the Flagstaff Observatory, in Melbourne, during 1858-1863*. Mannheim, 1867.

(6) *Sitzungsb. Akad. Wien*, t. XCVIII, 1889; t. XCIX, 1890 et t. CVIII, 1899.

(7) *Trans. Roy. Soc. of Edimburgh*, t. XXXII, 3^e Partie, 1885.

Les moyennes de 9 années, en deux groupes, se trouvent dans les Annales de cet établissement pour 1895⁽¹⁾. Ces observations faites avec un enregistreur de M. Mascart, dans des conditions d'installation défectueuses, il est vrai, sont, à ce point de vue même, fort instructives parce qu'elles ont été variées et nous ont fourni de précieux renseignements.

Pour les latitudes élevées et les régions polaires, les données dont nous disposons sont très insuffisantes. Elles se réduisent aux observations recueillies par quelques-unes des expéditions scientifiques de 1882-1883. Le Comité international, chargé d'établir le programme des recherches à entreprendre, avait indiqué, mais à titre facultatif, l'étude de l'électricité atmosphérique. Les missions suédoise, finlandaise, danoise et française s'en occupèrent, et les résultats ont été publiés dans les rapports relatifs aux travaux de ces expéditions.

Les observations de la mission française du Cap Horn, la seule qui fût pourvue d'un enregistreur, auraient pu avoir, pour cela, une valeur plus grande. En réalité, elles sont complètement inutilisables, du moins sous la forme adoptée pour leur publication⁽²⁾. Celles de l'expédition danoise, établie à Godthaab (Groenland), sous la direction de M. Paulsen, n'ont pas paru suffisamment sûres pour mériter d'être reproduites en détail. M. Paulsen n'a indiqué que les moyennes mensuelles de 6 mois de 1883⁽³⁾.

La mission finlandaise de Sodankylä, dans le nord de la Finlande, à la latitude d'environ 67°, a observé pendant 2 années. Les mesures étaient faites toutes les heures pendant la première année et trois fois par jour seulement pendant la seconde. Elles n'ont été publiées que récemment par M. S. Lemström, chef de la mission, et par M. Biese⁽⁴⁾.

Les données les plus complètes et, en raison de la latitude élevée, les plus instructives sont celles qui furent recueillies par M. S.-A. Andrée pendant le séjour de l'expédition suédoise au cap Thordsen (Spitzberg), à la latitude de 78°. Elles n'ont cependant duré que 10 mois, mais l'appareil était établi avec un soin si minutieux, toutes les précautions étaient si bien prises pour assurer un fonctionnement irréprochable que l'on pourrait citer cette installation improvisée comme un modèle, même pour un Observatoire fixe.

La mission n'avait pas d'enregistreur et l'on procédait par mesures horaires. Par un sentiment très exact de l'insuffisance du procédé et pour y remédier autant que possible, M. Andrée exécutait en double chaque lecture, la première

(1) *Observations made at the magnetical and meteorological Observatory at Batavia*, t. XVIII, 1895, p. 255.

(2) *Mission scientifique du Cap Horn*, 1882-1883. T. II, *Météorologie*, Paris, 1885.

(3) *Exploration internationale des régions arctiques*, 1882-1883. Expédition danoise. Observations faites à Godthaab. Copenhague, 1893 : *Introduction*, p. 8.

(4) *Observations faites aux stations de Sodankylä et de Kultala* (1882-1884), t. III; Helsingfors, 1898.

étant faite 5 ou 6 minutes avant l'heure exacte, la seconde 5 ou 6 minutes après. Ces observations ont été publiées en détail ⁽¹⁾, et le rapport qui les accompagne renferme, sur la météorologie électrique des régions polaires, des considérations du plus grand intérêt.

II. — Résultats des observations.

Tel est l'ensemble des documents dont nous pouvons disposer aujourd'hui pour la détermination de la variation diurne au voisinage du sol. Nous allons maintenant passer en revue, en les discutant, les résultats obtenus. Pour cela, nous nous placerons à un point de vue un peu spécial qui est une conséquence de nos propres recherches et que nous allons indiquer tout d'abord.

La variation diurne de l'électricité atmosphérique, telle qu'elle ressort des mesures exécutées au Bureau Central, présente incontestablement deux types différents, un type d'hiver et un type d'été, entre lesquels les mois d'automne et de printemps fournissent une transition régulière. L'importance de ce fait résulte de ce que la variation diurne observée au sommet de la Tour Eiffel, pendant l'été, très différente de celle que l'on constate pendant la même saison au voisinage du sol, est au contraire tout à fait analogue à la variation diurne d'hiver. Nous développerons plus loin les conséquences de ce rapprochement.

C'est cette différence des deux régimes d'hiver et d'été, si nette dans nos observations, que nous chercherons surtout à retrouver dans les observations antérieures. Au lieu d'examiner, dans celles-ci, les moyennes mensuelles et la moyenne annuelle, nous ferons, pour chacune d'elles, deux groupes se rapportant aux saisons extrêmes et nous négligerons provisoirement les saisons intermédiaires, ainsi que l'ensemble de l'année, qui sont pour nous d'un intérêt beaucoup moindre.

Le régime d'hiver, correspondant au maximum annuel du potentiel, est, en général, particulièrement accusé dans les mois de décembre et janvier. Nous avons pris la moyenne de ces 2 mois pour le caractériser, toutes les fois que les observations nous ont paru suffisantes; le mois de février n'y a été joint que pour donner plus de valeur aux moyennes résultant de séries trop courtes. Quant au régime d'été, il apparaît à peu près avec la même netteté pendant les mois de mai, juin, juillet et août, au cours desquels la valeur moyenne du potentiel, qui est alors minima, varie fort peu. Nous l'avons généralement caractérisé par la moyenne de ces 4 mois.

⁽¹⁾ *Observations faites au cap Thordsen (Spitzberg) par l'expédition suédoise*. t. II, 2^e Partie : *Électricité atmosphérique*. Stockholm, 1886.

Afin de mettre plus facilement en évidence les caractères saillants de la variation diurne dans chacune des séries d'observations que nous allons successivement examiner, nous donnons dans nos Tableaux numériques, au lieu des moyennes horaires elles-mêmes, les excès positifs ou négatifs de leurs valeurs par rapport à la moyenne diurne qui est chaque fois indiquée. Les maxima et les minima se distinguent ainsi immédiatement, et l'ensemble de la variation se dégage mieux dans une inspection rapide. Il apparaîtra plus nettement encore dans le dessin de la courbe dont les ordonnées seront les excès comptés, suivant leurs signes, de part ou d'autre d'une droite représentant la moyenne diurne (1).

Les heures sont comptées de midi à midi et non de 0 (minuit) à 24 (minuit) comme le veut la convention ordinairement adoptée en Météorologie. Les raisons de cette modification sont les suivantes. Les feuilles de l'enregistreur sont changées chaque jour vers midi; c'est aussi dans les dernières heures de la matinée que l'on procède au remplissage du réservoir d'écoulement. Or, par le fait de la variation de longueur du jet dans l'appareil ordinaire qui nous a longtemps servi, on peut avoir, dans les indications de l'électromètre, une variation qui se présente alors comme une erreur systématique s'introduisant à l'heure du remplissage. D'autre part, c'est au moment du changement de la feuille que se produisent d'ordinaire les interruptions nécessitées par la graduation ou le réglage de l'électromètre et par les vérifications de l'état d'isolement des appareils. Les moyennes semi-horaires, dans nos observations, sont donc un peu moins sûres au voisinage de midi. Il nous a paru préférable que, dans la représentation graphique, les ordonnées correspondantes fussent rejetées vers les extrémités de la courbe, et nous avons, par suite, adopté le même ordre dans les Tableaux (2).

Nous indiquons encore, pour chaque série, les *amplitudes diurne et nocturne*, dont les valeurs absolues, aussi bien que les variations de l'hiver à l'été, sont intéressantes à comparer. Nous les avons ainsi définies : on ne considère qu'un maximum, celui du soir, qui est toujours (sauf un seul cas, Lyon, en été) le maximum principal; les rapports, à la valeur diurne moyenne, des variations du potentiel entre ce maximum et chacun des deux minima qui l'encadrent, l'un

(1) Pour ne pas multiplier outre mesure le nombre de ces représentations graphiques, nous ne les avons conservées que pour les moyennes générales déduites de nos observations. On y suppléera aisément par un dessin facile à faire, sur un quadrillage quelconque, avec les nombres des Tableaux.

(2) Dans les publications que nous avons mentionnées, les heures sont comptées, tantôt suivant la convention astronomique de 0 (midi) à 24 (midi), tantôt, suivant la convention météorologique, de 0 (minuit) à 24 (minuit). Il est bon d'appeler l'attention sur ce point, quelques erreurs provenant d'un examen trop superficiel des Tableaux d'observations ayant été commises dans l'interprétation des résultats. C'est ainsi que l'on a dit, et depuis lors répété, que les observations de Lisbonne donnaient un maximum de nuit et un minimum de jour, alors qu'elles accusent *au contraire*, du moins pendant l'hiver, un maximum de jour et un minimum de nuit et que ce caractère persiste dans l'ensemble de la variation annuelle.

dans l'après-midi, l'autre vers 4^h du matin, représentent les deux amplitudes de jour et de nuit. Celles-ci permettent, par leur rapprochement, de caractériser l'importance relative des deux minima. En valeur absolue, nous les trouverons assez variables d'une série à l'autre, suivant les conditions de l'observation.

Enfin, les données essentielles sont complétées par l'indication des valeurs du rapport $\frac{H}{E}$ des potentiels diurnes moyens des groupes d'hiver et d'été.

I. OBSERVATOIRE DE KEW. — *W.-R. Birt. Trois ans, 1845-1848.* — Les observations, faites par la méthode du conducteur fixe, sont nécessairement fort incertaines. Nous avons tenu à les donner, parce que leur comparaison avec les résultats obtenus au même lieu par M. Everett, puis par M. Whipple, est intéressante et met précisément en évidence les défauts du procédé expérimental.

Le Mémoire de Birt renferme trois Tableaux. L'un d'eux est relatif aux observations négatives, l'autre à toutes les observations positives; le troisième ne comprend que les observations positives faibles (*low positive only*). C'est ce dernier qui nous paraît se rapprocher le plus du procédé actuel de dépouillement où l'on ne fait entrer dans les moyennes que les journées non troublées. L'ensemble de toutes les observations positives, qui forme le second Tableau, comprend, en effet, les manifestations de grande intensité accompagnant la neige, les brouillards, etc., et leur influence est évidente dans les moyennes.

Nous reproduisons donc, pour les deux régimes d'hiver et d'été, les moyennes déduites de ce troisième Tableau. Les nombres sont exprimés avec une unité arbitraire.

Kew (W.-R. BIRT).

Décembre, janvier et février.

Midi	+15	6 ^h s	+61	Minuit	-79	6 ^h m	0
2 ^h	+43	8	+73	2 ^h	-92	8	+21
4	+41	10	+15	4	-94	10	+9

Moyenne diurne H = 340.

Amplitude diurne = 0,09. Amplitude nocturne = 0,49.

Mai, juin, juillet et août.

Midi	+7	6 ^h s	+44	Minuit	-58	6 ^h m	-32
2 ^h	+9	8	+61	2 ^h	-94	8	+12
4	+24	10	+87	4	-89	10	+30

Moyenne diurne E = 268.

Amplitude diurne = 0,30. Amplitude nocturne = 0,68.

$$\frac{H}{E} = 1,27.$$

Le rapport des moyennes diurnes d'hiver et d'été, $\frac{H}{E} = 1,27$, est probablement trop faible, ce qui peut tenir aux défauts de l'isolement pendant l'hiver. On remarquera, en outre, la chute brusque du potentiel après le maximum de jour, à 8^h en hiver, à 10^h en été; elle paraît être un effet du refroidissement de la nuit sur l'isolement des supports.

2. OBSERVATOIRE DE KEW. — *J.-D. Everett. Deux ans, 1862-1864.* — Enregistreur de Thomson. L'importance du travail de M. Everett et la compétence de ce physicien donnent une grande valeur aux résultats de cette série. Malheureusement, ils ne sont pas entièrement comparables à la plupart de ceux qui ont été publiés depuis. Les moyennes comprennent, en effet, toutes les observations positives et négatives et sont déduites de leurs sommes algébriques; elles englobent ainsi toutes les perturbations que l'on cherche aujourd'hui à éliminer. Les nombres du Tableau suivant sont exprimés en volts.

Kew (J.-D. EVERETT).

Décembre, janvier et février.

Midi.....	+14	6 ^h s.....	+108	Minuit...	— 26	6 ^h m.....	—101
1 ^h	+ 4	7.....	+138	1 ^h	— 67	7.....	— 73
2.....	+ 1	8.....	+129	2.....	— 89	8.....	— 27
3.....	+ 9	9.....	+108	3.....	—100	9.....	— 2
4.....	+26	10.....	+ 66	4.....	—105	10.....	+ 7
5.....	+69	11.....	+ 13	5.....	—109	11.....	— 5

Moyenne diurne H = 266 volts.

Amplitude diurne = 0,54. Amplitude nocturne = 0,92.

Mai, juin, juillet et août.

Midi.....	—19	6 ^h s.....	— 7	Minuit...	+13	6 ^h m.....	—12
1 ^h	—21	7.....	+17	1 ^h	— 6	7.....	+21
2.....	—29	8.....	+42	2.....	—20	8.....	+43
3.....	—31	9.....	+57	3.....	—33	9.....	+23
4.....	—24	10.....	+59	4.....	—35	10.....	— 2
5.....	—21	11.....	+41	5.....	—31	11.....	—16

Moyenne diurne E = 156 volts.

Amplitude diurne = 0,59. Amplitude nocturne = 0,62.

$$\frac{H}{E} = 1,75.$$

L'amplitude nocturne en hiver est considérable. Du maximum du soir, à 7^h, au minimum de nuit, à 5^h, le potentiel varie d'une quantité qui est presque égale à sa valeur moyenne. Cette variation est beaucoup moindre en été, contraire-

ment aux résultats de Birt, et les deux amplitudes de jour et de nuit sont alors très voisines. Ce caractère, ainsi que la disparition à peu près complète, en hiver, du maximum du matin, établit, entre les deux régimes, une différence assez accentuée.

3. OBSERVATOIRE DE KEW. — *G.-M. Whipple. Année 1880.* — Même appareil. Le Mémoire de M. Whipple donne deux groupements des résultats. Le premier, suivant le procédé de M. Everett, comprend toutes les observations positives et négatives des potentiels mesurables; le second, conforme à l'un des groupements de Birt, se rapporte aux seules observations positives. Aucun des deux ne répond aux procédés actuels de dépouillement. Cependant, l'introduction des valeurs négatives ne paraît pas modifier sensiblement l'allure générale de la variation; les heures des maxima et des minima sont les mêmes, les amplitudes seules sont un peu plus grandes.

Nous ne reproduirons que les moyennes résultant des observations positives, dont la marche est plus régulière.

Kew (G.-M. WHIPPLE).

Janvier, février et décembre.

Midi..... +14	6 ^h s..... -24	Minuit.... -10	6 ^h m..... -39
1 ^h +12	7..... +38	1 ^h -11	7..... -24
2..... -3	8..... -42	2..... -17	8..... -10
3..... -5	9..... +39	3..... -36	9..... -15
4..... +4	10..... +20	4..... -44	10..... +17
5..... +18	11..... 0	5..... -43	11..... +10

Moyenne diurne H = 13,4 volts.

Amplitude diurne = 0,35. Amplitude nocturne = 0,64.

Mai, juin, juillet et août.

Midi..... -7	6 ^h s..... -4	Minuit.... +10	6 ^h m..... +1
1 ^h -9	7..... +6	1 ^h +7	7..... +5
2..... -13	8..... +12	2..... +1	8..... +2
3..... -16	9..... +21	3..... -3	9..... -6
4..... -15	10..... +23	4..... -5	10..... -16
5..... -10	11..... +14	5..... -2	11..... -6

Moyenne diurne E = 52 volts.

Amplitude diurne = 0,75. Amplitude nocturne = 0,54.

$$\frac{H}{E} = 2,58.$$

Ces nombres sont encore exprimés en volts. Comme les valeurs moyennes

différent notablement de celles de la série d'Everett, il est probable que le collecteur avait subi, depuis l'installation primitive, des modifications importantes, soit dans son emplacement, soit dans la longueur du tuyau d'écoulement.

Il est plus surprenant de trouver une différence aussi grande entre les rapports $\frac{H}{E}$ des potentiels diurnes moyens d'hiver et d'été : 1,75 d'après les observations de M. Everett, 2,58 d'après celles de M. Whipple. Si, pour avoir des nombres entièrement comparables, on prend, dans ces dernières, les potentiels moyens pour toutes les mesures positives et négatives, on trouve une valeur encore plus élevée : 2,71. En réalité, les deux séries sont trop courtes pour permettre de déterminer ce rapport avec exactitude; il suffit de quelques mois pluvieux ou troublés pour modifier considérablement les valeurs moyennes, dans un mode de dépouillement où trouvent précisément place toutes les perturbations.

Les variations diurnes d'hiver sont assez concordantes; les maxima et minima se produisent à des heures voisines, les deux amplitudes ont à peu près les mêmes valeurs relatives et le maximum incertain du matin se présente dans des conditions analogues, mal déterminé entre 10^h et midi.

Les variations d'été diffèrent davantage. Le minimum de jour est beaucoup plus accentué dans les observations de M. Whipple, tandis que le maximum de nuit, si prononcé en hiver, s'accuse à peine. La différence d'allure entre les variations d'hiver et d'été est donc ici plus frappante. Nous allons trouver l'exagération de ce caractère dans les observations de Greenwich.

4. OBSERVATOIRE DE GREENWICH. — *Quatre ans, 1890-1893.* — Enregistreur de Thomson. L'utilisation complète de la série qui commence en 1879 ne nous a pas paru nécessaire en présence de la concordance des résultats fournis séparément par chacune des années utilisées. D'ailleurs, ainsi que nous l'avons fait remarquer, les nombres publiés n'ont qu'une signification assez incertaine; ils mesurent les déviations de l'électromètre et celles-ci ne sont pas proportionnelles aux potentiels.

Toutefois, dans les conditions habituelles du fonctionnement de l'appareil, le potentiel constant de l'aiguille étant au moins cinq ou six fois plus grand que le potentiel moyen de la paire de quadrants reliée au collecteur, on peut admettre la proportionnalité comme suffisamment approchée pour que la courbe des moyennes horaires ne soit pas modifiée sensiblement. Dans tous les cas, son allure générale n'est certainement pas changée.

Ces observations se rapportent aux journées sans pluie, neige, etc., mais non pas uniquement aux belles journées. Elles comprennent probablement des périodes fortement troublées par les nuages et surtout les brouillards.

Greenwich.

Décembre et janvier.

Midi..... + 8	6 ^h s..... +23	Minuit.... - 5	6 ^h m..... -25
1 ^h + 7	7 +24	1 ^h -13	7 -23
2 + 5	8 +22	2 -16	8 -15
3 + 6	9 +19	3 -17	9 -12
4 + 9	10 +16	4 -19	10 + 1
5 +16	11 + 8	5 -21	11 + 5

Moyenne diurne H = 109.

Amplitude diurne = 0,17. Amplitude nocturne = 0,45.

Mai, juin, juillet et août.

Midi..... -13	6 ^h s..... -12	Minuit.... +12	6 ^h m..... + 8
1 ^h -14	7 - 6	1 ^h +13	7 +10
2 -15	8 + 2	2 +12	8 + 7
3 -16	9 +11	3 + 9	9 - 2
4 -17	10 +17	4 + 7	10 - 8
5 -15	11 +16	5 + 5	11 -13

Moyenne diurne E = 43.

Amplitude diurne = 0,80. Amplitude nocturne = 0,28.

$$\frac{H}{E} = 2,54.$$

La différence entre les deux régimes est considérable et, de l'un à l'autre, le sens de la variation est à peu près renversé.

Tandis que la variation diurne d'hiver reste conforme, dans son ensemble, aux résultats de Birt, d'Everett et de Whipple et donne un minimum très accentué pendant la nuit, la variation diurne d'été, sensiblement simple, offre au contraire un maximum de nuit et un minimum de jour.

Nous avons voulu nous assurer que cette allure si particulière est constante dans la série de Greenwich et indépendante des années que nous avons choisies. Après avoir constaté que chacune des quatre années entrant dans les moyennes, prise isolément, donnait des résultats analogues, nous avons étudié quatre autres années, de 1883 à 1886, antérieures à l'année 1887, pendant laquelle l'électromètre fut remis en état avec une sensibilité différente. Les moyennes de ce second groupe sont en parfait accord avec celles du premier.

La modification progressive de la variation d'été dans les observations de M. Everett, de M. Whipple et dans celles de Greenwich nous paraît être en rapport avec des conditions de moins en moins bonnes dans l'installation du collecteur. Ces conditions sont très défectueuses à Greenwich, tant en raison de la position de l'Observatoire que de la situation particulière où se trouve l'ap-

pareil. L'Observatoire de Kew est beaucoup mieux situé; mais nous avons dit que les valeurs notablement plus faibles des moyennes de M. Whipple étaient l'indice certain d'un changement apporté au collecteur depuis les mesures utilisées par M. Everett. Nous n'avons pas de renseignements précis à ce sujet; il est cependant très probable que le point de prise du potentiel était beaucoup plus dégagé dans les anciennes observations.

5. OBSERVATOIRE DE MONCALIERI. — *R. P. Denza*. — Appareil à conducteur mobile de Palmieri. La valeur du procédé expérimental est discutable, mais il offre certainement plus de garanties d'uniformité dans les résultats que la méthode du conducteur fixe. D'autre part, le plus grand soin paraît avoir été apporté aux observations.

Les nombres du Tableau suivant sont extraits des moyennes de 215 journées d'observations horaires, réparties sur une période de huit ans; ils sont exprimés avec une unité arbitraire.

Moncalieri.

Décembre et janvier (40 jours).

Midi..... +45	6 ^h s..... + 52	Minuit.... — 8	6 ^h m..... —42
1 ^h +15	7..... + 82	1 ^h —61	7..... —21
2..... —13	8..... +124	2..... —84	8..... +38
3..... —26	9..... + 75	3..... —74	9..... +29
4..... —41	10..... + 52	4..... —97	10..... + 7
5..... + 4	11..... — 5	5..... —64	11..... + 9

Moyenne diurne H = 461.

Amplitude diurne = 0,36. Amplitude nocturne = 0,47.

Mai, juin, juillet et août (70 jours).

Midi..... —15	6 ^h s..... —22	Minuit.... +13	6 ^h m..... +47
1 ^h —30	7..... + 2	1 ^h — 2	7..... +64
2..... —60	8..... + 5	2..... —39	8..... +42
3..... —56	9..... +69	3..... —21	9..... +26
4..... —36	10..... +48	4..... — 9	10..... —11
5..... —27	11..... +31	5..... — 6	11..... —25

Moyenne diurne E = 273.

Amplitude diurne = 0,47. Amplitude nocturne = 0,40.

$$\frac{H}{E} = 1,69.$$

Le minimum de nuit prédomine encore en hiver, le minimum de jour en été. Le caractère différentiel reste le même, il est seulement moins accentué.

6. LABORATOIRE DE M. RÒITI A FLORENCE. — *M. Magrini*. — Enregistreur de M. Mascart. Les moyennes horaires ont été publiées pour les mois de septembre 1883 à décembre 1886.

Les observations de cette série, qui serait assez importante, n'ont pas été faites dans les mêmes conditions expérimentales au cours des trois années; la longueur du tuyau d'écoulement a varié de 1^m,90 à 1^m,75, puis à 1^m,44. Il faut donc considérer isolément les moyennes relatives à ces trois groupes, et l'incertitude résultant de périodes aussi courtes est encore accrue par le procédé de dépouillement dans lequel on a tenu compte de toutes les observations positives et négatives.

Nous ne donnerons que les moyennes de l'année 1885; la longueur du tuyau d'écoulement était alors de 1^m,75. Les nombres du Tableau sont exprimés en volts; ils se rapportent, non pas aux heures mêmes, mais aux intervalles horaires pour lesquels ils représentent les excès moyens. On devra les pointer, dans le tracé des courbes, sur les ordonnées des demi-heures intercalaires.

Florence.

Décembre et janvier.

Midi-1 ^h .. + 8	6 ^h -7 ^h s... +58	Minuit-1 ^h . - 9	6 ^h -7 ^h m... -36
1 ^h -2 ^h - 5	7- 8 +44	1 ^h -2 ^h -25	7- 8 -11
2-3 - 5	8- 9 +41	2-3 -31	8- 9 - 2
3-4 - 2	9-10 +36	3-4 -44	9-10 + 6
4-5 +13	10-11 +19	4-5 -41	10-11 - 2
5-6 +38	11-minuit.. - 6	5-6 -40	11-midi.... + 1

Moyenne diurne H = 131 volts.

Amplitude diurne = 0,48. Amplitude nocturne = 0,78.

Mai, juin, juillet et août.

Midi-1 ^h .. -13	6 ^h -7 ^h s... + 3	Minuit-1 ^h . - 2	6 ^h -7 ^h m... + 8
1 ^h -2 ^h - 9	7- 8 +18	1 ^h -2 ^h -14	7- 8 -11
2-3 - 9	8- 9 +32	2-3 -18	8- 9 +10
3-4 - 8	9-10 +34	3-4 -21	9-10 - 4
4-5 -10	10-11 +20	4-5 -24	10-11 - 2
5-6 - 5	11-minuit.. +11	5-6 -11	11-midi.... -12

Moyenne diurne E = 95 volts.

Amplitude diurne = 0,46 Amplitude nocturne = 0,61.

$$\frac{H}{E} = 1,38.$$

La différence entre les deux variations est moins sensible encore que dans la série de Moncalieri. Comme dans les moyennes de M. Everett, où entrent également les observations négatives, le minimum de nuit l'emporte dans les deux saisons. Mais l'allure générale de la variation d'hiver reste toujours la même. Elle est à peu de chose près identique dans toutes les séries que nous avons examinées, et c'est sur la variation d'été que se manifestent, suivant l'impor-

tance des influences locales, les modifications qui séparent plus ou moins nettement les deux régimes.

7. OBSERVATOIRE DE LISBONNE. — *Trois ans, 1884 à 1887.* — Enregistreur photographique. Les observations forment deux séries. Dans la première, de 1877 à 1881, le support isolant du collecteur était une colonne de verre chauffée au gaz, au besoin, pendant la mauvaise saison. Un tel procédé est évidemment très défectueux; l'isolement est notoirement insuffisant et les résultats de cette série, auxquels nous ne nous arrêterons pas, en sont la preuve. Dans la seconde, de 1884 à 1887, ce défaut semble avoir disparu; le support en verre a dû être remplacé à cette époque par des isoloirs à acide sulfurique. La marche de l'électromètre est devenue très régulière et les moyennes des mesures de ces trois années offrent entre elles une concordance remarquable. Elle est même tellement frappante que, malgré les réserves que l'on serait tenté de faire, il est difficile de ne pas attribuer une grande valeur à l'ensemble de ces observations.

La situation exceptionnellement favorable de l'Observatoire, situé à 100^m au-dessus du niveau de la mer, dans un endroit bien découvert, ajoute encore à leur intérêt.

Le collecteur était placé dans la tour Nord-Ouest du bâtiment, à 18^m au-dessus du sol, et la distance à la muraille du point de dispersion du jet liquide variait de 0^m,80 à 0^m,90 environ. Dans ces conditions, les potentiels moyens nous semblent faibles. Les nombres du Tableau sont exprimés en volts; ils se rapportent encore probablement à l'ensemble de toutes les observations positives et négatives (1).

Lisbonne.

Décembre et janvier.

Midi	+21	6 ^h s.	+40	Minuit	-34	6 ^h m.	-24
1 ^h	+16	7	+30	1 ^h	-35	7	-17
2	+26	8	+13	2	-35	8	-6
3	+26	9	+5	3	-29	9	+6
4	+19	10	-5	4	-30	10	+11
5	+28	11	-18	5	-26	11	+17

Moyenne diurne H = 86 volts.

Amplitude diurne = 0,28. Amplitude nocturne = 0,87.

(1) Nous n'avons trouvé à ce sujet aucune indication précise dans la trop courte Notice accompagnant chaque année la publication des moyennes dans les *Annales de l'Observatoire*.

Lisbonne.

Mai, juin, juillet et août.

Midi.....	o	6 ^h s.....	— 2	Minuit....	— 5	6 ^h m.....	+ 3
1 ^h	+ 6	7.....	+ 2	1 ^h	— 8	7.....	+ 9
2.....	+ 9	8.....	+10	2.....	—10	8.....	+ 6
3.....	+ 3	9.....	+13	3.....	—14	9.....	+ 2
4.....	o	10.....	+10	4.....	—14	10.....	— 4
5.....	— 3	11.....	+ 1	5.....	— 9	11.....	— 6

Moyenne diurne E = 40 volts.

Amplitude diurne = 0,41. Amplitude nocturne = 0,69.

$$\frac{H}{E} = 2,15.$$

Ces deux régimes sont entièrement dissemblables. La variation diurne d'hiver, dans son ensemble, est simple avec un maximum de jour et un minimum de nuit; la variation d'été offre une triple oscillation très nette. Chacun de ces caractères, nous l'avons dit, est constant dans les trois années qu'embrassent les moyennes.

En laissant de côté la complication qui résulte de la troisième oscillation d'été, nous trouvons dans les deux variations une modification de même sens par rapport aux résultats des précédentes séries. Le minimum de jour est beaucoup moins prononcé; il est encore sensible en été; il disparaît complètement pendant l'hiver. Or, c'est là un fait qui nous paraît en rapport avec la position, plus dégagée, du collecteur. Il pourrait être une conséquence d'un défaut d'isolement de cet appareil, plus sensible pendant la nuit; mais ce défaut n'apparaît pas dans la série que nous avons utilisée et, d'autre part, nous avons retrouvé une variation d'hiver analogue au Bureau central où la qualité de l'isolement ne nous a jamais laissé aucun doute.

8. OBSERVATOIRE DE PERPIGNAN. — *Dix ans, 1885 à 1895.* — La série fournie par l'Observatoire de Perpignan, où, par les soins de M. le Dr Fines, les observations ont été régulièrement faites, dépouillées et publiées depuis 1885, est certainement une des meilleures dont nous disposons pour l'étude de la variation diurne. Elle comprend aujourd'hui près de quinze années et les moyennes horaires y sont déduites des seules journées calmes.

Nous avons calculé ces moyennes pour les mois d'hiver et les mois d'été d'une période de dix ans (de décembre 1885 à 1895), d'après les valeurs horaires publiées dans le *Bulletin annuel de la Commission météorologique des Pyrénées-Orientales*.

Ces nombres sont exprimés en volts.

Perpignan.

Décembre et janvier.

Midi.....	- 1	6 ^h s.....	+24	Minuit....	-14	6 ^h m.....	-14
1 ^h	- 3	7.....	+28	1 ^h	-24	7.....	+ 3
2.....	- 5	8.....	+26	2.....	-28	8.....	+19
3.....	- 4	9.....	+20	3.....	-29	9.....	+22
4.....	+ 2	10.....	+ 9	4.....	-28	10.....	+12
5.....	+13	11.....	- 3	5.....	-24	11.....	- 2

Moyenne diurne H = 85 volts.

Amplitude diurne = 0,39. Amplitude nocturne = 0,67.

Mai, juin, juillet et août.

Midi.....	- 3	6 ^h s.....	+ 6	Minuit....	- 3	6 ^h m.	+ 4
1 ^h	- 4	7.....	+13	1 ^h	- 7	7.....	+ 8
2.....	- 6	8.....	+16	2.....	-10	8.....	+ 5
3.....	- 7	9.....	+15	3.....	-11	9.....	0
4.....	- 5	10.....	+10	4.....	-10	10.....	- 4
5.....	- 1	11.....	+ 5	5.....	- 5	11.....	- 6

Moyenne diurne E = 59 volts.

Amplitude diurne = 0,38. Amplitude nocturne = 0,46.

$$\frac{H}{E} = 1,45.$$

Nous ne trouvons ici aucune différence essentielle entre les variations diurnes dans les deux saisons. La double oscillation est également nette en hiver et en été; l'amplitude nocturne seule est un peu modifiée et plus forte en hiver. Le maximum du matin que nous avons vu souvent presque disparaître pendant la saison froide reste très accentué et, dans la variation d'été, un léger maximum secondaire se dessine en outre vers midi.

La prise de potentiel est faite à 1^m,50 du mur de la salle du collecteur et à 8^m,40 au-dessus du sol; les arbres les plus voisins sont à 18^m. Ces conditions paraissent très bonnes, l'Observatoire étant d'ailleurs en dehors de la ville et bien dégagé. Cependant, les potentiels diurnes moyens nous semblent bien faibles. Ils atteignent à peine, pour la même altitude et pour la même distance du point exploré, le tiers des valeurs observées au Bureau central au début de nos expériences, alors que les arbres voisins, qui depuis lors ont grandi, étaient dominés par le tuyau d'écoulement. Le rapport $\frac{H}{E} = 1,45$ est également un des plus petits de ceux que nous aurons à signaler (¹).

(¹) La série du Parc Saint-Maur, que nous donnons plus loin, conduit à un rapport plus faible, 1,29; mais, comme elle ne comprend qu'une année, la valeur de ce résultat est des plus douteuses. Quant aux observations de Birt, qui donnent 1,27 par la méthode du conducteur fixe, elles sont encore moins significatives.

La réelle valeur de cette série de dix ans n'est pas contestable; les nombres qu'elle fournit donnent probablement avec exactitude la variation diurne moyenne au lieu d'observation; mais l'uniformité d'allure de cette variation de l'hiver à l'été nous laisse, sur la signification de ces résultats, un doute que la considération de la régularité relative, pour nos régions tempérées, du climat de Perpignan ne nous paraît pas dissiper (1).

9. OBSERVATOIRE DE LYON. — *Années 1885 à 1890.* — La situation de l'Observatoire à Saint-Genis-Laval, à plusieurs kilomètres de Lyon et à une altitude assez élevée, est très bonne; mais le collecteur, trop rapproché du sol et non loin duquel se trouvent des arbres et arbustes assez développés, est dans des conditions moins favorables qu'à Perpignan.

Les nombres suivants ont été calculés d'après les moyennes horaires données dans le Mémoire de M. André. Ils se rapportent aux journées non troublées, de vent calme ou moyen, de nébulosité faible.

Lyon.

Décembre et janvier.

Midi	+17	6 ^h s.	+24	Minuit	-20	6 ^h m.	-23
1 ^h	+9	7	+26	1 ^h	-30	7	-4
2	+4	8	+27	2	-34	8	+6
3	0	9	+17	3	-33	9	+16
4	+4	10	+6	4	-32	10	+18
5	+13	11	-2	5	-31	11	+16

Moyenne diurne H = 167 volts.

Amplitude diurne = 0,16. Amplitude nocturne = 0,36.

Mai, juin, juillet et août.

Midi	+3	6 ^h s.	-1	Minuit	-12	6 ^h m.	0
1 ^h	0	7	+8	1 ^h	-16	7	+17
2	-1	8	+11	2	-19	8	+24
3	-3	9	+11	3	-21	9	+23
4	-4	10	+1	4	-20	10	+14
5	-3	11	-5	5	-15	11	+6

Moyenne diurne E = 78 volts.

$$\frac{H}{E} = 2,14.$$

La variation d'été est caractérisée par une prédominance du maximum du matin que nous n'avons retrouvée dans aucune autre station. Nous n'avons pas

(1) Le dépouillement des courbes de l'enregistreur est fait à Perpignan sur les courbes *régularisées* (voir p. 15). Nous avons dit les inconvénients qui peuvent résulter de ce procédé.

donné, pour cette raison, les amplitudes diurne et nocturne, évaluées dans nos Tableaux à l'aide du maximum du soir qui est ici le moins important.

La variation d'hiver ne présente rien de particulier, si ce n'est l'accroissement rapide du potentiel dans les premières heures de la matinée, sans indication précise d'un maximum entre 9^h et midi.

Dans l'un et l'autre régime, les amplitudes sont faibles et le minimum de nuit est toujours le plus accentué.

10. OBSERVATOIRE DU PARC SAINT-MAUR. — Les observations du Parc Saint-Maur n'ont été dépouillées par M. Moureaux que pour une période d'environ trois années, de 1887 à 1890; il est impossible de calculer la moyenne générale des résultats, par suite d'une incertitude sur la graduation de l'électromètre dans une partie de ce dépouillement. Ces données sont donc loin d'avoir la même importance que celle des séries de Lyon et de Perpignan.

D'autre part, les conditions sont médiocres. Le collecteur est trop rapproché du sol (à 3^m environ) et des arbres très élevés se trouvent en grand nombre dans son voisinage. Leur influence paraît certaine, car les courbes du Parc Saint-Maur ont un aspect accidenté très particulier.

Cependant, en raison de l'intérêt qui s'attache à la comparaison de ces observations avec celles du Collège de France et du Bureau central à l'intérieur de Paris, nous avons étudié soigneusement, pour chacune des trois années, le détail des moyennes mensuelles et nos groupements habituels d'hiver et d'été.

Nous reproduisons les moyennes de ces deux groupes pour 1889-1890. Elles sont calculées d'après les journées sans perturbations dont le nombre se trouve être assez grand, dans chaque groupe, pour assurer aux résultats une valeur suffisante.

Parc Saint-Maur.

Décembre, janvier et février (64 jours).

Midi.....	+ 1	6 ^h s.....	+32	Minuit....	-16	6 ^h m.	-19
1 ^h	- 1	7.....	+33	1 ^h	-18	7.....	-10
2.....	- 1	8.....	+24	2.....	-18	8.....	+ 5
3.....	- 1	9.....	+13	3.....	-19	9.....	+18
4.....	+ 4	10.....	0	4.....	-22	10.....	+13
5.....	+18	11.....	- 5	5.....	-24	11.....	+ 3

Moyenne diurne H = 99 volts.

Amplitude diurne = 0,34. Amplitude nocturne = 0,58.

Mai, juin, juillet et août (94 jours).

Midi.....	-18	6 ^h s.....	- 1	Minuit....	+14	6 ^h m.....	+ 1
1 ^h	-18	7.....	+14	1 ^h	+ 7	7.....	+ 6
2.....	-18	8.....	+26	2.....	+ 1	8.....	+ 5
3.....	-18	9.....	+32	3.....	- 4	9.....	+ 4
4.....	-15	10.....	+26	4.....	- 8	10.....	-11
5.....	-11	11.....	+20	5.....	- 7	11.....	-16

Moyenne diurne $E = 77$ volts.

Amplitude diurne = 0,65. Amplitude nocturne = 0,52.

$$\frac{H}{E} = 1,29.$$

Les trois mois que nous avons réunis pour le régime d'hiver, considérés isolément, donnent des variations très concordantes. Mais, dans les mêmes mois des années précédentes, le minimum de jour est fréquemment moins prononcé, la valeur du potentiel reste supérieure à la moyenne diurne et l'amplitude correspondante est plus faible; en outre, le maximum du matin est moins net. Sur ces deux points, il convient de faire quelques réserves.

L'allure de la variation d'été est, au contraire, exactement la même dans les moyennes mensuelles des trois années. Toujours le minimum de l'après-midi l'emporte sur le minimum de nuit et l'amplitude diurne est plus grande que l'amplitude nocturne; toujours aussi le maximum du matin est faible et dépasse peu la valeur moyenne. Malgré le petit nombre des observations, on peut donc considérer la variation diurne d'été au Parc Saint-Maur comme assez bien représentée par les nombres de notre Tableau et nous voyons reparaître à cette station, avec le creusement du minimum de jour pendant la saison chaude, une différence accentuée entre les deux régimes d'hiver et d'été.

11. LABORATOIRE DE M. MASCART AU COLLÈGE DE FRANCE. — Le collecteur, placé près d'une fenêtre de l'amphithéâtre de Physique, à une assez grande hauteur au-dessus du sol, mais sur une cour encaissée entre de hauts bâtiments, et non loin de grands arbres, était, manifestement, dans une situation très défavorable. Cependant, les observations, commencées en 1879 et poursuivies jusqu'à la fin de 1893, formeraient, en raison de leur durée, un ensemble précieux, si la surveillance continue qui est nécessaire au bon fonctionnement des appareils n'avait fait trop souvent défaut, surtout dans ces dernières années. M. Moureaux a pu en effectuer le dépouillement pour la période de 1883 à 1887; nous avons essayé, sans succès, de tirer parti des années suivantes. Les nombres que nous donnons ici sont déduits des moyennes que M. Moureaux a bien voulu nous communiquer; ils sont exprimés en volts.

Collège de France.

Décembre et janvier.

Midi..... + 5	6 ^h s..... +15	Minuit.... - 5	6 ^h m..... - 6
1 ^h + 4	7..... +16	1 ^h -10	7..... - 7
2..... + 2	8..... +15	2..... -11	8..... - 9
3..... + 2	9..... +11	3..... -11	9..... - 8
4..... + 5	10..... + 4	4..... -11	10..... - 4
5..... + 9	11..... - 1	5..... - 9	11..... + 2

Moyenne diurne H = 66 volts.

Amplitude diurne = 0,23. Amplitude nocturne = 0,42.

Mai, juin, juillet et août.

Midi..... - 9	6 ^h s..... + 1	Minuit.... + 9	6 ^h m..... + 6
1 ^h -12	7..... +11	1 ^h + 8	7..... - 4
2..... -13	8..... +15	2..... + 7	8..... - 7
3..... -13	9..... +13	3..... + 6	9..... -10
4..... -11	10..... +11	4..... + 5	10..... -13
5..... - 7	11..... +11	5..... + 7	11..... -10

Moyenne diurne E = 33 volts.

Amplitude diurne = 0,86. Amplitude nocturne = 0,30.

$$\frac{H}{E} = 2.$$

La ressemblance de ces deux variations, si dissemblables entre elles, avec les variations correspondantes de Greenwich est des plus frappantes. Pour bien l'apprécier, on peut se reporter aux représentations graphiques : l'identité d'allure est absolue.

A une oscillation secondaire près, de faible amplitude, vers 6^h du matin au Collège de France, les courbes d'hiver sont en tous points les mêmes comme heures et comme variations. Les courbes d'été, non moins semblables, sont, l'une par rapport à l'autre, déplacées de deux heures; la variation diurne de Greenwich retarde de ce temps sur la variation diurne identique du Collège de France où l'on observe, en outre, à midi, une oscillation secondaire qui ne se manifeste plus à Greenwich pendant la saison chaude. En dehors de ces deux points, l'étroite analogie des résultats paraîtra sans doute remarquable, si l'on songe aux conditions très différentes, mais probablement également mauvaises, dans lesquelles ils ont été obtenus.

Pour le Collège de France, comme pour Greenwich, la variation diurne d'été est absolument anormale, et nous avons tenu à constater l'existence de cette anomalie dans chacune des quatre années dont les nombres de notre Tableau représentent la moyenne. La concordance des résultats partiels ne peut laisser aucun

doute sur la valeur du résultat moyen. Elle subsiste même dans tous les détails de la variation; c'est ainsi que, pour chaque année, on retrouve en hiver, avec la même netteté, la petite oscillation secondaire de 4 à 5 volts dont le maximum, à 6^h du matin, se substitue au minimum qu'indiquerait à cette heure la continuité de la courbe et qui existe, en effet, à Greenwich.

En dépouillant les tracés obtenus au Collège de France à l'aide de son électromètre inscripteur, pour une période antérieure à celle que nous avons examinée et qui comprenait surtout des mois d'été, M. Mascart (1) avait été conduit à admettre, comme représentant la loi de la variation diurne de l'électricité atmosphérique, une oscillation simple avec un minimum de jour et un maximum de nuit. L'observation était exacte, mais seulement pour la saison chaude, et nous venons de voir qu'en hiver l'allure générale de la variation est tout autre et se rapproche, en somme, suffisamment de quelques-unes de celles que nous avons précédemment étudiées.

On trouverait, au besoin, dans l'observation incomplète de M. Mascart au Collège de France, une preuve nouvelle de la constance, dans cette station, du régime d'été anormal qui nous paraît être là, comme à Greenwich, un effet exagéré de l'influence du voisinage du sol.

12. OBSERVATOIRE DE BATAVIA. — Les observations, faites avec un enregistreur de M. Mascart, forment deux séries qui diffèrent par la situation du collecteur.

Dans la première, de 1887 à 1890, cet appareil n'était qu'à 2^m au-dessus du sol, la séparation des gouttelettes liquides se produisant à 1^m,50 du mur environ. Le point exploré se trouvait alors complètement dominé par de très grands arbres situés à une assez courte distance. Dans ces conditions défectueuses, le potentiel diurne moyen, très faible, n'atteignait pas 8 volts.

En 1890, le collecteur fut élevé à 8^m dans le même corps de bâtiment, son orientation restant la même, ainsi que sa distance aux arbres voisins dont l'influence devenait toutefois moins sensible, en raison de l'altitude. Le potentiel moyen, 97 volts, pour la même longueur du tuyau d'écoulement, est à peu près douze fois plus fort que dans la première installation.

Sous ce climat d'une régularité remarquable, la température moyenne varie fort peu; le minimum 25°,3 a lieu en janvier; le maximum 26°,4 se présente deux fois en mai et en octobre (2). Cependant, les variations du potentiel moyen au cours de l'année sont du même ordre de grandeur que dans nos régions tempérées.

(1) *Sur l'électricité atmosphérique* (*Comptes rendus*, t. XCI, 1880, p. 158).

(2) L'état hygrométrique varie de 87,5 en février à 77,7 en août-septembre; la force élastique de la vapeur d'eau, de 21^{mm},5 en avril à 10^{mm},2 en août. Ces nombres résultent des moyennes de trente années (1866 à 1895) (*Annales de l'Observatoire de Batavia*, 1895).

Pour la première position du collecteur, on a un maximum en mars, 12^{volts}, 2, et un minimum en août, 4^{volts}, 9, dont le rapport est 2,4. Pour la seconde, le minimum, 71 volts, se produit en septembre et l'on trouve deux maxima de 116 et 114 volts en avril et novembre. Le rapport des valeurs extrêmes est ici plus faible : 1,6.

Mais, dans chacun des deux groupes, malgré les variations notables du potentiel moyen, la variation diurne conserve exactement la même allure dans les différents mois et nous avons, d'un bout de l'année à l'autre, un régime unique. Nous le représenterons par la moyenne générale de toutes les observations. Celles-ci ne comprennent pas les jours pluvieux; elles renferment cependant, en assez grand nombre, des valeurs négatives du potentiel constatées fréquemment aux heures chaudes du jour par beau temps. Nous reviendrons, dans un autre Chapitre, sur cette particularité des observations de Batavia.

Les nombres du Tableau suivant sont exprimés en volts et dixièmes, pour la première série, en volts pour la seconde.

Batavia. — Année.

Première série (collecteur à 2^m au-dessus du sol).

Midi.....	-5,5	6 ^h s.....	-0,7	Minuit....	+3,7	6 ^h m.....	+2,9
1 ^h	-5,5	7.....	+1,6	1 ^h	+3,7	7.....	+4,6
2.....	-5,5	8.....	+2,9	2.....	+3,2	8.....	+0,3
3.....	-5,3	9.....	+3,6	3.....	+2,8	9.....	-2,6
4.....	-4,7	10.....	+3,8	4.....	+2,2	10.....	-4,6
5.....	-2,6	11.....	+4,0	5.....	+2,1	11.....	-5,1

Moyenne diurne = 7^{volts}, 9.

Amplitude diurne = 1,20. Amplitude nocturne = 0,24.

Deuxième série (collecteur à 8^m au-dessus du sol).

Midi.....	-55	6 ^h s.....	+7	Minuit....	+29	6 ^h m.....	+16
1 ^h	-57	7.....	+44	1 ^h	+25	7.....	+45
2.....	-55	8.....	+53	2.....	+14	8.....	+18
3.....	-52	9.....	+53	3.....	+8	9.....	-17
4.....	-46	10.....	+46	4.....	+2	10.....	-43
5.....	-26	11.....	+42	5.....	+1	11.....	-52

Moyenne diurne = 97 volts.

Amplitude diurne = 1,13. Amplitude nocturne = 0,54.

En améliorant la situation du collecteur, on a augmenté l'amplitude nocturne de l'oscillation, mais l'allure générale est restée la même. Il est impossible de ne pas être frappé de l'analogie de ces variations avec la variation diurne d'été au Collège de France et à Greenwich. Elle est particulièrement remarquable dans la première série qui correspond aux conditions les plus mauvaises dans

l'installation du collecteur et dont la représentation graphique, au dessin près du maximum du soir, reproduit presque exactement la courbe de Greenwich.

Nous retrouvons ici, uniformément au cours de l'année, les anomalies observées pendant la saison chaude de nos climats dans les stations où le collecteur, placé sous l'influence trop immédiate des objets voisins, se trouve soumis, de la part du sol, à une action perturbatrice caractérisée par la grandeur de l'amplitude diurne et en rapport évident avec l'élévation de la température.

13. SODANKYLÄ (FINLANDE, 68° LAT. N.). — Les observations de MM. Lemström et Biese dans cette station ont duré deux ans, mais les mesures horaires susceptibles d'être utilisées pour l'étude de la variation diurne n'ont été faites que pendant une année, de septembre 1882 à août 1883. On procédait par lectures directes, avec un appareil à écoulement d'eau et un électromètre de M. Mascart. Le tuyau d'écoulement avait environ 2^m et se trouvait à 3^m au-dessus du sol.

La moyenne annuelle (65 volts) est sensiblement supérieure à celle du Parc Saint-Maur où le collecteur est à peu près dans les mêmes conditions. En réalité, ce résultat n'a pas grande signification, car les observations de Sodankylä, comprenant toutes les journées troublées ou non, sont peu comparables à celles de Saint-Maur qui ne se rapportent qu'aux jours sans perturbation. Pour la même raison, les moyennes des différents mois ne peuvent rien apprendre sur la variation du potentiel au cours de l'année. Il semble toutefois que le maximum ait lieu au printemps, en avril ou mai. Le minimum est très incertain.

La variation diurne, établie d'après les moyennes de toute l'année, a nettement le caractère d'une oscillation simple, avec un maximum pendant le jour et un minimum vers 3^h du matin. Au lieu de cette moyenne générale dans laquelle se trouvent compris quelques mois très troublés, nous donnerons celle qui résulte des quatre mois les plus réguliers, de janvier à avril 1883. Le potentiel diurne moyen, 86 volts, a, pour ce groupe, une valeur supérieure à la moyenne annuelle, par suite de la rareté plus grande des pluies et des valeurs faibles ou négatives du potentiel qui les accompagnent.

Sodankylä.

Janvier, février, mars et avril.

Midi.....	+ 10	6 ^h s.....	+ 13	Minuit....	— 5	6 ^h m.....	— 17
1 ^h	+ 14	7.....	+ 16	1 ^h	— 13	7.....	— 10
2.....	+ 15	8.....	+ 14	2.....	— 19	8.....	— 7
3.....	+ 18	9.....	+ 11	3.....	— 23	9.....	— 4
4.....	+ 16	10.....	+ 4	4.....	— 23	10.....	+ 8
5.....	+ 11	11.....	+ 1	5.....	— 24	11.....	0

Moyenne diurne = 86 volts.

Amplitude nocturne = 0,49.

Nous n'avons pas à considérer l'amplitude diurne, car le minimum de l'après-midi n'existe plus. C'est même à l'heure où il se produit habituellement, 3^h, que s'observe ici le maximum absolu, 104 volts, avec un excès de 18 volts sur la moyenne.

14. CAP THORSDEN (SPITZBERG, 78° LAT. N.). — Le collecteur était exactement dans les mêmes conditions qu'à Sodankylä. L'écoulement se produisait à 1^m,87 en dehors du bâtiment et à 3^m au-dessus du sol. Nous avons dit précédemment avec quel soin ces observations avaient été faites par M. S.-A. Andrée et l'importance qu'il convient d'y attacher, pour cette cause, malgré leur courte durée : elles ne s'étendent, en effet, que sur 10 mois, de novembre 1882 à août 1883. Comme dans les observations de M. Lemström, toutes les journées, belles et troublées, entrent dans les moyennes. Cependant, les déviations négatives sont relativement peu nombreuses ; leur proportion est de 1,7 pour 100 seulement. M. Andrée fait remarquer à ce sujet que les perturbations d'intensité anormale sont surtout positives.

La valeur moyenne du potentiel pour les 10 mois est 11,3 daniells, soit environ 12 volts. D'après la remarque précédente, elle ne peut être considérée comme affaiblie par l'effet des perturbations ; elle serait plutôt trop forte et M. Andrée rappelle dans son *Mémoire* les résultats presque nuls, ou même faiblement négatifs, obtenus autrefois à Polhem, dans la même région, à une latitude un peu plus haute (80°), par M. Wijkander. Le procédé d'observation de M. Wijkander était peu précis, mais la variation brusque de potentiel moyen entre Sodankylä et le cap Thorsden, pour 10° de latitude, rend assez probable une diminution rapide au delà de cette station (1).

Quant à la variation diurne, elle offre, pour les différents mois aussi bien que pour l'ensemble de la période, une allure accidentée due sans doute aux perturbations nombreuses. M. Andrée a cherché à atténuer leur influence dans les moyennes en remplaçant par zéro toutes les observations négatives et par le double de la valeur moyenne du mois toutes les observations positives supérieures à cette quantité. On obtient ainsi une série de marche plus régulière et dont le caractère dominant est, comme à Sodankylä, celui d'une oscillation simple avec un maximum et un minimum également nets, l'un à 8^h du soir, l'autre à 4^h du matin. Le potentiel moyen n'est plus que 9,4 daniells.

Les nombres de notre Tableau ont été calculés, non pas d'après cette série, mais d'après l'ensemble des trois mois de juin, juillet et août, qui donnent les

(1) C'est à l'influence des aurores que M. Andrée attribue l'affaiblissement du potentiel dans les régions polaires. Il fait remarquer, notamment, que les deux premiers mois de ses observations, novembre et décembre 1882, qui furent les plus froids et pendant lesquels les aurores furent le plus fréquentes, ont donné les potentiels moyens de beaucoup les plus faibles, 1,42 et 0,70 daniell.

variations diurnes les plus voisines de la variation moyenne. Ces mois sont aussi les moins troublés et leur potentiel moyen est un peu plus faible. Ce sont enfin des mois d'été, et cette considération n'est pas sans intérêt, étant donnée l'allure particulière de la variation.

Les excès sont exprimés en dixièmes d'élément daniell.

Cap Thordsen.

Juin, juillet et août.

Midi.	0,0	6 ^h s.	+1,6	Minuit.	0,8	6 m.	-1,5
1 ^h	+0,7	7	+1,5	1 ^h	1,2	7	-1,1
2	+0,6	8	+1,7	2	1,8	8	-0,6
3	+1,1	9	+1,8	3	-1,2	9	-0,4
4	-1,2	10	+0,9	4	1,7	10	-0,4
5	+1,4	11	-0,1	5	-1,6	11	0,0

Moyenne diurne = 7,6 daniells.

Amplitude nocturne = 0,47.

Ainsi, au cap Thordsen comme à Sodankylä, disparition complète du minimum de l'après-midi; le potentiel croit ici à peu près régulièrement pendant le jour jusqu'au maximum du soir.

Malgré le peu d'étendue des périodes d'observations, il semble que les résultats concordants obtenus en ces deux points, par leur opposition avec les moyennes de Batavia, ne peuvent laisser aucun doute sur la *marche différente de la variation diurne au voisinage du sol, suivant la température moyenne de la station.*

Nous trouvons là, de part et d'autre, l'exagération de la différence entre les régimes des saisons chaude et froide constatée dans la plupart des observations de nos climats tempérés et qui s'y manifeste d'autant plus que le collecteur, moins dégagé, est soumis davantage à l'influence du sol.

L'élévation de la température favorise le développement de l'action perturbatrice. On peut alors se demander si le minimum de jour que nous avons toujours vu se prononcer sous cette influence, qui n'existe plus dans les régions polaires et qui contraste d'ailleurs si étrangement avec le minimum constant de 4^h du matin, est bien un caractère de la loi générale de la variation diurne ou s'il ne s'introduit pas simplement comme une perturbation due au sol, maxima en été et susceptible de disparaître en toute saison à une altitude suffisante.

C'est ce point que nous paraît pouvoir éclaircir la comparaison des observations faites simultanément au Bureau Central et au sommet de la Tour Eiffel.

CHAPITRE II.

VARIATION DIURNE AU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE.

Les observations commencées en août 1891 au Bureau Central météorologique s'étendent aujourd'hui sur plus de 8 ans. Toutefois, les résultats relatifs à la variation diurne ne peuvent être réunis dans une moyenne d'ensemble telle qu'on pourrait l'attendre d'une aussi longue série.

Pendant les premières années, préoccupé surtout de varier les conditions expérimentales et d'étudier, dans le fonctionnement des appareils, les points de détail qui font l'objet de la première Partie de ce Mémoire, nous avons dû sacrifier fréquemment la continuité de nos observations régulières. Mais le soin minutieux qui a présidé à leur exécution, la certitude constante du parfait état de nos instruments, tant au point de vue de l'isolement qu'au point de vue des mesures, enfin les précautions prises pour donner au dépouillement des courbes la plus grande exactitude possible, nous permettent d'attribuer à nos résultats une signification assez précise pour conserver aux moyennes une valeur suffisante, même quand elles sont déduites de séries un peu courtes.

I. — Régime d'hiver.

Nous disposons, pour le déterminer, des trois groupes suivants :

1. Le premier se compose de 25 journées très belles, choisies dans les mois de décembre 1893, janvier et février 1894 et dans le mois de novembre de cette même année qui fut exceptionnellement froid. Ce sont des journées froides, de ciel clair, sans brume. La distance du point de prise du potentiel à la muraille était de 1^m,60 ; le potentiel moyen correspondant est assez élevé : 342 volts.

Bureau Central.

Décembre 1893, janvier, février et novembre 1894. — 25 jours.

Midi.....	+32	6 ^h s.....	+38	Minuit....	-28	6 ^h m.....	-34
Midi 30..	+33	6.30	+43	Min ^t 30..	-31	6.30	-19
1 ^h	+31	7	+56	1 ^h	-40	7	-12
1.30	+28	7.30	+46	1.30	-58	7.30	+15
2	+9	8	+47	2	-66	8	+31
2.30	+30	8.30	+41	2.30	-72	8.30	+23
3	+22	9	+18	3	-72	9	+24
3.30	-1	9.30	+24	3.30	-81	9.30	+15
4	+14	10	+17	4	-76	10	+15
4.30	+10	10.30	+4	4.30	-57	10.30	+20
5	+19	11	0	5	-55	11	+21
5.30	+21	11.30	-14	5.30	-44	11.30	+26

Moyenne diurne = 342 volts (à 1^m, 60).

Amplitude diurne = 0,16. Amplitude nocturne = 0,40.

2. La seconde série comprend 34 jours des mois de décembre 1895, janvier et février 1896. Leur ensemble correspond à des conditions très favorables et assez variées au point de vue de la température pour donner une idée exacte d'un régime d'hiver moyen. Le tube d'écoulement était ici plus court que dans la série précédente et le point exploré se trouvait à 1^m, 20 du mur seulement : aussi la moyenne diurne est-elle beaucoup plus faible.

Bureau Central.

Décembre 1895, janvier et février 1896. — 34 jours.

Midi.....	+28	6 ^h s.....	+64	Minuit....	-37	6 ^h m.....	-39
Midi 30..	+34	6.30	+57	Min ^t 30..	-45	6.30	-20
1 ^h	+38	7	+63	1 ^h	-47	7	-4
1.30	+28	7.30	+52	1.30	-55	7.30	+5
2	+26	8	+43	2	-69	8	+16
2.30	+31	8.30	+33	2.30	-71	8.30	+26
3	+32	9	+9	3	-72	9	+18
3.30	+38	9.30	+8	3.30	-78	9.30	+6
4	+38	10	-4	4	-75	10	+17
4.30	+41	10.30	-21	4.30	-74	10.30	+17
5	+48	11	-29	5	-61	11	+9
5.30	+61	11.30	-26	5.30	-60	11.30	+16

Moyenne diurne = 208 volts (à 1^m, 20).

Amplitude diurne = 0,18. Amplitude nocturne = 0,68.

3. Enfin, nous avons réuni dans un dernier groupe plus important les belles journées des trois hivers de 1896-1897, 1897-1898, 1898-1899, représentés, le premier par 33 jours, du 22 novembre au 8 février; le deuxième par 39 jours,

du 20 novembre au 29 janvier; le troisième par 33 jours, du 18 novembre au 21 février. Les potentiels diurnes moyens correspondants, pour la distance constante de 1^m,40, ont été 202 volts, 201 volts et 210 volts, soit, en moyenne, 204 volts pour l'ensemble des 105 journées du groupe.

On remarquera que cette valeur diffère peu de la moyenne de la série précédente, dans laquelle la distance du point exploré était plus courte de 20^{cm}, et reste très inférieure à la moyenne de la première série, 340 volts environ, où la longueur du tuyau d'écoulement était plus grande de la même quantité. Il semble donc que, depuis 1893 jusqu'en 1896, le potentiel moyen ait constamment diminué, pour rester ensuite à peu près le même au cours des années suivantes.

C'est, en effet, ce qui résulte de toutes les observations, de celles d'été aussi bien que de celles d'hiver, ainsi que nous le verrons plus loin, et la raison de ce fait est la suivante : en face du collecteur, à quelques mètres de distance, se trouvent des marronniers, plantés en 1888, et dont les branches étaient encore, en 1894, sensiblement plus bas que notre appareil. Il n'en est plus de même aujourd'hui et la croissance de ces arbres a modifié la forme des surfaces de niveau au voisinage du tuyau d'écoulement. Les marronniers étant ébranchés tous les ans à la même époque, leur hauteur moyenne varie peu depuis quelques années, et la modification apportée aux conditions du collecteur paraît rester constante, au moins en hiver.

Bureau Central.

De la fin de novembre aux premiers jours de février; 1896-1899. — 105 jours.

Midi.....	+ 8	6 ^h s.....	+45	Minuit....	-32	6 ^h m.....	-33
Midi 30...	+19	6.30.....	+50	Min ^t 30...	-36	6.30.....	-19
1 ^h	+20	7.....	+46	1 ^h	-40	7.....	- 4
1.30.....	+26	7.30.....	+37	1.30.....	-46	7.30.....	+16
2.....	+24	8.....	+31	2.....	-56	8.....	+23
2.30.....	+19	8.30.....	+23	2.30.....	-58	8.30.....	+28
3.....	+19	9.....	+ 9	3.....	-57	9.....	+29
3.30.....	+19	9.30.....	+ 2	3.30.....	-54	9.30.....	+27
4.....	+24	10.....	- 7	4.....	-59	10.....	+24
4.30.....	+33	10.30.....	-14	4.30.....	-55	10.30.....	+23
5.....	+38	11.....	-17	5.....	-48	11.....	+18
5.30.....	+42	11.30.....	-27	5.30.....	-45	11.30.....	+ 6

Moyenne diurne = 204 volts (à 1^m, 40).

Amplitude diurne = 0,22. Amplitude nocturne = 0,53.

Les courbes représentatives des moyennes de ces trois groupes, mieux encore que les Tableaux qui précèdent, mettront en relief leurs caractères communs : un minimum de jour très atténué et un minimum de nuit prononcé à une heure qui reste à peu près toujours la même et qui s'éloigne peu de 3^h30^m du matin.

Nous pouvons considérer la dernière série comme représentant très exactement la variation diurne d'hiver au Bureau Central dans les conditions actuelles de nos observations. Les trois années dont elle donne la moyenne, prises isolément, fournissent, en effet, des variations presque identiques. Néanmoins, pour caractériser définitivement le régime d'hiver, nous avons cru préférable de fondre dans une moyenne générale les moyennes des deux derniers groupes, en négligeant l'influence, certainement très faible dans la variation diurne, de la différence de longueur (20^{cm}) des tuyaux d'écoulement. On obtient ainsi les nombres suivants, d'ailleurs très voisins de ceux qui précèdent :

Bureau Central.

RÉGIME D'HIVER (139 *jours*).

Midi	+13	6 ^h	-50	Minuit	-34	6 ^h m.	-34
Midi 30	+23	6.30	+52	Min ^l 3	-39	6.30	-20
1 ^h	+25	7	-50	1 ^h	-42	7	-4
1.30	+26	7.30	-41	1.30	-49	7.30	-14
2	+24	8	-34	2	-59	8	-22
2.30	+22	8.30	-26	2.30	-61	8.30	-27
3	+23	9	-9	3	-61	9	-26
3.30	+24	9.30	-3	3.30	-60	9.30	-22
4	+28	10	-6	4	-63	10	+22
4.30	+35	10.30	-15	4.30	-60	10.30	+21
5	+41	11	-20	5	-51	11	+16
5.30	+47	11.30	-27	5.30	-48	11.30	+9

Moyenne diurne = 205 volts (à 1^m, 40 environ).

Amplitude diurne = 0,21. Amplitude nocturne = 0,56.

(Voir *Courbe Pl. XII.*)

On remarquera, en dehors du caractère général que nous avons déjà signalé, l'existence d'une oscillation secondaire au milieu du jour. Elle apparaît dans toutes les moyennes partielles et nous la retrouverons en été, à la Tour Eiffel aussi bien qu'au Bureau Central.

II. — Régime d'été.

Le nombre plus grand des journées utilisables pendant la belle saison donne ici plus d'importance aux groupements que nous avons été conduit à faire dans nos observations. Nous en examinerons successivement quatre.

1. Le premier se rapporte aux mois de mai, juin, juillet et août 1893; il comprend 65 jours. Le potentiel diurne moyen y est de 170 volts, à 1^m, 60 du mur.

Si nous rapprochons de ce nombre la valeur moyenne, 342 volts, obtenue en hiver dans les mêmes conditions, nous trouvons pour le rapport $\frac{H}{E}$, 2,01.

Bureau Central.

Mai, juin, juillet et août 1893. — 65 jours.

Midi.....	-45	^h 6 s.....	- 5	Minuit.....	+32	^h 6 m.....	+14
Midi 30..	-33	6.30.....	+17	Min ^t 30..	+20	6.30.....	+20
1 ^h	-39	7.....	+48	1 ^h	+10	7.....	+28
1.30.....	-37	7.30.....	+74	1.30.....	- 2	7.30.....	+36
2.....	-45	8.....	+76	2.....	-10	8.....	+25
2.30.....	-52	8.30.....	+71	2.30.....	-12	8.30.....	+13
3.....	-53	9.....	+66	3.....	-14	9.....	-10
3.30.....	-48	9.30.....	+53	3.30.....	-19	9.30.....	-25
4.....	-50	10.....	+55	4.....	-21	10.....	-40
4.30.....	-49	10.30.....	+44	4.30.....	- 9	10.30.....	-42
5.....	-34	11.....	+43	5.....	+11	11.....	-55
5.30.....	-16	11.30.....	+40	5.30.....	+ 4	11.30.....	-54

Moyenne diurne = 170 volts (à 1^m,60).

Amplitude diurne = 0,76. Amplitude nocturne = 0,57.

(Voir Courbe PL. VII.)

2. Les observations de la seconde série embrassent deux années, moins favorables que la précédente, mais dont nous avons pu grouper les résultats, les conditions expérimentales étant restées les mêmes. La distance du point exploré est un peu moindre, soit 1^m,50 environ.

Bureau Central.

Mai, juin, juillet et août; 1894 et 1895. — 86 jours.

Midi.....	-35	^h 6 s.....	0	Minuit.....	+10	^h 6 m.....	+ 7
Midi 30..	-29	6.30.....	+24	Min ^t 30..	+ 9	6.30.....	+20
1 ^h	-30	7.....	+42	1 ^h	+ 3	7.....	+21
1.30.....	-33	7.30.....	+54	1.30.....	- 4	7.30.....	+25
2.....	-34	8.....	+59	2.....	-12	8.....	+25
2.30.....	-37	8.30.....	+58	2.30.....	-14	8.30.....	+20
3.....	-33	9.....	+54	3.....	-20	9.....	+ 7
3.30.....	-32	9.30.....	+45	3.30.....	-26	9.30.....	- 8
4.....	-29	10.....	+39	4.....	-26	10.....	-12
4.30.....	-27	10.30.....	+30	4.30.....	-22	10.30.....	-17
5.....	-22	11.....	+27	5.....	-14	11.....	-23
5.30.....	-13	11.30.....	+23	5.30.....	- 4	11.30.....	-33

Moyenne diurne = 145 volts (à 1^m,50).

Amplitude diurne = 0,66. Amplitude nocturne = 0,59.

3. Le troisième groupe est formé de 58 journées des mêmes mois de l'année 1896. Il correspond à la seconde série d'hiver et le point de rupture du jet d'eau est à la même distance, 1^m, 20. Le rapport des moyennes diurnes des deux saisons, 208 volts et 117 volts, est ici $\frac{H}{E} = 1,78$.

Bureau Central.*Mai, juin, juillet et août 1896. — 58 jours.*

Midi.....	—28	6 ^h s.....	—10	Minuit....	+ 7	6 ^h m.....	+16
Midi 30..	—24	6.30.....	— 4	Min ^t 30...	+ 5	6.30.....	+34
1 ^h	—29	7.....	+26	1 ^h	+ 3	7.....	—31
1.30.....	—22	7.30.....	+36	1.30.....	0	7.30.....	—33
2.....	—23	8.....	—41	2.....	— 8	8.....	+26
2.30.....	—28	8.30.....	+37	2.30.....	— 7	8.30.....	+18
3.....	—30	9.....	+28	3.....	—10	9.....	+11
3.30.....	—32	9.30.....	+27	3.30.....	—11	9.30.....	+ 3
4.....	—28	10.....	+18	4.....	—15	10.....	—11
4.30.....	—24	10.30.....	+15	4.30.....	— 9	10.30.....	—18
5.....	—22	11.....	+16	5.....	— 2	11.....	—23
5.30.....	—16	11.30.....	+14	5.30.....	+ 9	11.30.....	—25

Moyenne diurne = 117 volts (à 1^m, 20).

Amplitude diurne = 0,62. Amplitude nocturne = 0,48.

4. Dans le quatrième groupe, nous avons réuni, pour les mois de juin, juillet et août, les observations des deux années 1897 et 1898. Les 97 journées utilisables nous ont donné, comme potentiel moyen, 133 volts à 1^m, 40. Le rapport $\frac{H}{E}$, établi à l'aide de la troisième série d'hiver, est 1,53.

Bureau Central.*Juin, juillet et août; 1897 et 1898. — 97 jours.*

Midi.....	—31	6 ^h s.....	— 3	Minuit....	+12	6 ^h m.....	+ 5
Midi 30..	—29	6.30.....	+10	Min ^t 30...	+ 5	6.30.....	+17
1 ^h	—26	7.....	+23	1 ^h	+ 3	7.....	+23
1.30.....	—19	7.30.....	+35	1.30.....	— 3	7.30.....	+33
2.....	—20	8.....	+37	2.....	—10	8.....	+28
2.30.....	—25	8.30.....	+39	2.30.....	—19	8.30.....	+17
3.....	—25	9.....	+36	3.....	—18	9.....	+10
3.30.....	—25	9.30.....	+30	3.30.....	—21	9.30.....	+ 7
4.....	—24	10.....	+28	4.....	—21	10.....	— 3
4.30.....	—21	10.30.....	+24	4.30.....	—13	10.30.....	— 7
5.....	—15	11.....	+19	5.....	— 8	11.....	—17
5.30.....	— 9	11.30.....	+14	5.30.....	— 4	11.30.....	—28

Moyenne diurne = 133 volts (à 1^m, 40).

Amplitude diurne = 0,53. Amplitude nocturne = 0,45.

Ces quatre séries de moyennes, très concordantes, caractérisent de la façon la plus nette la variation diurne d'été au Bureau Central et son opposition à la variation diurne d'hiver.

Nous prendrons comme type de cette variation d'été celle qui résulte de la moyenne générale des trois dernières séries. Bien que cette moyenne ne soit pas absolument légitime en raison de la position variable du point exploré, elle correspond à un état moyen dans lequel la précision moindre des mesures est avantageusement compensée par l'introduction d'un nombre plus grand d'observations et par une élimination meilleure des variations accidentelles qui en est la conséquence.

Bureau Central.

RÉGIME D'ÉTÉ (242 jours.)

Midi.....	32	6 ^h 8.....	— 4	Minuit.....	— 10	6 ^h m.....	+ 8
Midi 30.....	29	6.30.....	— 13	Min ^h 30.....	— 6	6.30.....	+ 21
1 ^h	29	7.....	— 30	1 ^h	— 3	7.....	+ 24
1.30.....	25	7.30.....	— 41	1.30.....	— 3	7.30.....	+ 29
2.....	26	8.....	— 45	2.....	— 11	8.....	+ 26
2.30.....	31	8.30.....	— 45	2.30.....	— 15	8.30.....	+ 18
3.....	— 30	9.....	— 40	3.....	— 17	9.....	+ 8
3.30.....	— 30	9.30.....	+ 34	3.30.....	— 21	9.30.....	0
4.....	— 27	10.....	— 29	4.....	— 22	10.....	— 9
4.30.....	— 25	10.30.....	— 24	4.30.....	— 16	10.30.....	— 14
5.....	— 20	11.....	— 20	5.....	— 9	11.....	— 22
5.30.....	— 13	11.30.....	+ 17	5.30.....	— 1	11.30.....	— 31

Moyenne diurne = 134 volts (à 1^m, 40 environ).

Amplitude diurne = 0,57. Amplitude nocturne = 0,50.

(Voir Courbe Pl. XII.)

L'heure du maximum principal, très voisine de 8^h du soir, est bien déterminée; elle retarde de 1 heure 30 minutes environ sur l'heure du maximum en hiver. Le minimum de nuit se produit constamment à 4^h; *il se déplace donc très peu* (30 minutes au plus) d'une saison à l'autre, mais sa valeur relative est considérablement modifiée. Très prononcé en hiver, où le minimum de jour se dessine à peine, il devient moins important que ce dernier pendant la saison chaude.

C'est ce changement dans la position du minimum absolu passant, de l'hiver à l'été, d'une heure voisine de celle du minimum de température aux heures les plus chaudes du jour, qui établit entre les deux régimes une différence si frappante qu'elle s'est imposée à nous dès le début de nos recherches.

D'après les observations que nous avons précédemment examinées, elle paraît être un effet d'une influence du sol en rapport avec la situation du point exploré. Les mesures effectuées au sommet de la Tour Eiffel et sur le

pylône de Trappes confirmeront cette manière de voir; mais dès à présent nous pouvons tirer les conclusions suivantes de l'ensemble des résultats relatifs aux stations voisines du sol :

L'oscillation diurne *tend à devenir simple* en hiver par l'atténuation plus ou moins complète du minimum de l'après-midi. Elle est double en été par le creusement de ce minimum au détriment du minimum de nuit. Ce dernier peut même disparaître pendant la saison chaude dans des conditions particulières de l'installation du collecteur, telles qu'elles se présentent à Greenwich, au Collège de France et dans la première série de Batavia; l'oscillation paraît alors de nouveau simple, mais en sens inverse de l'oscillation d'hiver, avec un minimum de jour et un maximum de nuit.

L'examen des observations du Bureau Central donne lieu à quelques remarques dont on doit probablement chercher l'explication dans les modifications progressives survenues dans la situation du collecteur par suite de la croissance des arbres voisins. Nous avons déjà constaté l'affaiblissement des moyennes diurnes dans les séries d'hiver. Le même fait se retrouve dans celles d'été. D'autre part, les valeurs du rapport $\frac{H}{E}$ que nous avons successivement déduites de la comparaison de ces séries vont en diminuant de 2,01 à 1,78, à 1,53.

Cette influence paraît même se faire sentir sur l'allure de la variation diurne, au moins pendant l'été. C'est ainsi que le maximum du matin qui, dans les premières années, s'est toujours montré relativement faible par rapport à celui du soir, augmente dans les dernières et diffère peu du maximum principal. Pour cette raison, nous n'avons pas compris dans la moyenne générale représentant le régime d'été les observations de 1893, qui méritent d'être examinées à part et dont le caractère particulier apparaîtra mieux dans l'étude analytique que nous donnerons plus loin de l'oscillation diurne.

Nous devons encore appeler l'attention sur l'oscillation secondaire de faible amplitude, mais constamment très nette dans toutes nos moyennes partielles, en hiver comme en été, et dont le maximum se produit dans ces deux saisons à 1^h30^m de l'après-midi. Elle ne saurait être attribuée à une influence locale, car nous la retrouverons à la Tour Eiffel. D'autre part, elle disparaît complètement en automne.

Elle résulte d'une sorte de dédoublement du minimum de jour qui, au lieu de s'accroître progressivement depuis le maximum du matin jusque vers 3^h ou 4^h, se creuse brusquement au voisinage de midi et de telle sorte que cette heure est le plus souvent celle du minimum absolu (pendant le jour). Au point de vue météorologique, ce fait est remarquable; il semble ne pouvoir être rapproché

que de l'existence, signalée par M. Crova, d'un affaiblissement très fréquent vers midi dans l'intensité de la radiation solaire, par des journées très belles et de ciel en apparence parfaitement pur.

III. — Mois d'automne (*septembre-octobre*).

Comme transition entre les deux régimes d'hiver et d'été que nous venons d'étudier en détail, nous donnons la moyenne générale de toutes les journées d'observations recueillies, par beau temps, pendant les mois de septembre et d'octobre, de 1891 à 1898. Cette moyenne comprend, ainsi qu'il résulte de ce que nous avons dit précédemment, des mesures faites dans des conditions un peu variables. Les valeurs horaires, de même que la valeur du potentiel diurne moyen, n'ont par suite qu'une précision relative, mais l'allure de la variation diurne, d'ailleurs bien déterminée par la concordance des moyennes partielles de chaque année, est exactement représentée par une moyenne d'ensemble.

Les nombres obtenus correspondraient sensiblement à une distance du point exploré à la muraille égale à 1^m,50. On les a réduits de $\frac{1}{20}$ pour les ramener à 1^m,40 et les rendre ainsi à peu près comparables à ceux que nous avons donnés dans les moyennes générales d'hiver et d'été.

Bureau Central.

MOIS D'AUTOMNE (*septembre-octobre*). — 248 jours.

Midi.....	—22	6 ^h s.....	+66	Minuit....	—22	6 ^h m.....	—15
Midi 30...	—21	6.30.....	+75	Min ^l 30...	—24	6.30.....	0
1 ^h	—21	7.....	+74	1 ^h	—27	7.....	+14
1.30.....	—21	7.30.....	+66	1.30.....	—30	7.30.....	+21
2.....	—23	8.....	+53	2.....	—36	8.....	+24
2.30.....	—22	8.30.....	+40	2.30.....	—39	8.30.....	+23
3.....	—19	9.....	+28	3.....	—39	9.....	+16
3.30.....	—15	9.30.....	+19	3.30.....	—42	9.30.....	+10
4.....	—6	10.....	+11	4.....	—45	10.....	+6
4.30.....	+8	10.30.....	—2	4.30.....	—40	10.30.....	—3
5.....	+28	11.....	—9	5.....	—30	11.....	—10
5.30.....	+49	11.30.....	—15	5.30.....	—27	11.30.....	—19

Moyenne diurne = 168 volts (à 1^m,40 environ).

Amplitude diurne = 0,58. Amplitude nocturne = 0,71.

(Voir *Courbe Pl. XII.*)

IV. — Comparaison des observations du Collège de France et du Bureau Central.

Les variations diurnes d'hiver ne sont pas sans quelques ressemblances. Les heures du maximum du soir et du minimum de nuit sont à peu près les mêmes; mais l'oscillation secondaire qui suit *constamment* ce dernier au Collège de France manque au Bureau Central, comme elle manque à Greenwich, et, de 4^h du matin à midi, la marche du potentiel est très différente aux deux stations. D'autre part, le minimum de jour est plus accusé au Collège de France.

Les courbes d'été sont très dissemblables; en dehors des portions comprises entre 4^h de l'après-midi et l'heure commune du maximum du soir, 8^h, on peut dire que tout accord disparaît. Le maximum de nuit constaté à Greenwich et dans la première série de Batavia, et qui est également caractéristique de la variation diurne d'été au Collège de France, n'existe plus à quelques kilomètres de cette station, en un autre point de l'intérieur de Paris, alors que les conditions générales provenant du milieu et que l'on pourrait croire susceptibles d'influence semblent les mêmes.

Le rapprochement des courbes journalières fournies simultanément par les deux enregistreurs fait mieux ressortir encore leur discordance de marche. *Par de très belles journées calmes et sans nuages, les courbes du Collège de France et du Bureau Central présentent généralement des différences considérables, particulièrement accentuées pendant la nuit et parfois telles que l'on hésiterait à croire que ces courbes se rapportent aux variations du même élément.*

L'influence des conditions d'installation des appareils paraît ainsi bien démontrée. Dans les deux stations, l'écoulement se produisait sensiblement à la même distance de la muraille et à des hauteurs peu différentes au-dessus du sol; *cependant, les potentiels observés sont, en moyenne, cinq fois plus forts au Bureau Central.* Mais le collecteur du Collège de France, qui donnait sur une cour étroite et sombre, était entièrement dominé par de hauts bâtiments situés à moins de 25^m de l'extrémité du tube; tandis que celui du Bureau Central, orienté sur une cour plus vaste et plus dégagée, est beaucoup plus isolé des constructions voisines.

Il résulte de là que, pour rendre comparables les observations faites dans des lieux différents, aussi bien que pour déterminer exactement la loi de la variation diurne au voisinage du sol, *il est absolument nécessaire d'opérer loin des villes et dans des endroits bien découverts.*

Telle est la conclusion qui se dégage de la comparaison des observations du Collège de France et du Bureau Central. Nous la croyons importante et nous avons tenu à la mettre bien en lumière parce qu'elle est en contradiction for

melle avec une opinion généralement admise et d'après laquelle, en raison de l'éloignement des masses agissantes, la situation du point exploré serait sans importance pour l'étude de la variation diurne. Malgré l'opposition de M. Ròiti, cette opinion fut en quelque sorte sanctionnée par les décisions de la Conférence internationale de 1884, qui ne crut pas devoir prendre en considération le vœu formulé par l'observateur italien sur la nécessité d'une définition précise du point exploré (1).

(1) *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*, 2^e session; Paris, 1884 (*Procès-verbaux*, p. 67 à 74).

CHAPITRE III.

VARIATION DIURNE AU VOISINAGE DU SOMMET DE LA TOUR EIFFEL.

L'enregistreur installé au sommet de la Tour Eiffel à la fin de la saison de 1892, dans les conditions qui ont été décrites (Première Partie, Chap. III), a fonctionné régulièrement chaque année, depuis 1893, pendant les mois de mai à octobre. Nous disposons donc aujourd'hui, pour cette période, de sept séries d'observations et les résultats obtenus forment un ensemble assez important pour offrir à la discussion une base solide. S'ils sont encore insuffisants pour fixer dans ses détails la loi de la variation diurne, ils établissent du moins, d'une façon certaine, l'allure générale de cette variation.

Pendant ces 6 années, les conditions d'observation ne sont pas restées absolument les mêmes. Pour confirmer les premiers résultats, assez inattendus, nous avons cherché à varier ces conditions autant que possible, avant d'établir une suite continue de mesures rigoureusement comparables. D'autre part, chaque année, jusqu'en 1896, nous avons successivement apporté des améliorations nécessaires à l'état de nos appareils. Nous ne pouvons pas, par suite, présenter une moyenne générale des observations et nous devons étudier séparément les résultats de chaque série, réunis en aussi grand nombre que possible et mis en regard des données fournies simultanément par l'enregistreur du Bureau Central.

Cette méthode d'exposition nous est imposée, mais elle est, en fait, la meilleure, car elle permet seule de bien établir, par la concordance des résultats partiels, la valeur de conclusions qui resteraient discutables si elles ne s'appuyaient que sur une moyenne d'ensemble formée, peut-être, d'éléments disparates.

Pour permettre la comparaison des observations du Bureau Central et de la Tour, nous grouperons dans ces dernières, d'une part les quatre mois de mai à août, qui nous ont servi à caractériser le régime d'été au voisinage du sol, de l'autre les deux mois d'automne. Cette distinction semble d'ailleurs justifiée par certaines modifications qui, sans changer l'allure générale de la variation, nous ont paru se manifester d'une manière constante entre les deux saisons.

I. — Mois d'été.

1. *De mai à août 1893.* — Cette première série, l'une des plus importantes par le nombre des journées calmes et de ciel clair, comprend 58 jours d'observations répartis entre le 4 mai et le 20 août. Le tuyau d'écoulement du collecteur, très allongé, plaçait le point exploré à 1^m, 70 environ de l'armature métallique; c'est la plus grande distance à laquelle nous ayons opéré. Les mesures électrométriques étaient faites par l'intermédiaire du premier modèle de cascade (M), dont le fonctionnement a toujours été très bon. L'isolement de l'appareil collecteur par le support à la paraffine, fréquemment vérifié, n'a rien laissé à désirer. Malgré la grandeur des potentiels observés (ils ont atteint parfois 6000 volts au moment du maximum de jour), les conditions générales de l'observation semblent avoir été très bonnes.

Les excès sur la moyenne donnés par le Tableau suivant sont exprimés en dizaines de volts. Il en sera de même dans les autres séries.

Tour Eiffel.

VARIATION DIURNE D'ÉTÉ A 1^m, 70 DE LA PAROL.

Mai, juin, juillet, août 1893. — 58 jours.

(En dizaines de volts.)

Midi +6	6 ^h s. +90	Minuit -21	6 ^h m. -66
Midi 3 -29	6.30 -98	Min ¹ 30 -34	6.30 -55
1 ^h +44	7 -94	1 ^h -42	7 -41
1.30 +49	7.30 -80	1.30 -61	7.30 -35
2 +50	8 -66	2 -76	8 -27
2.30 +45	8.30 -56	2.30 -80	8.30 -23
3 +41	9 -44	3 -86	9 -16
3.30 +45	9.30 -28	3.30 -88	9.30 -13
4 -51	10 +17	4 -94	10 -18
4.30 +51	10.30 -8	4.30 -91	10.30 -19
5 +63	11 -5	5 -79	11 -17
5.30 +77	11.30 -11	5.30 -73	11.30 +1

Moyenne diurne = 4010 volts.

Amplitude nocturne = 0,48.

(Voir *Courbe, Pl. XII.*)

Cette série correspond exactement à notre premier groupe d'été au Bureau Central; celui-ci comprend pourtant 7 jours de plus (65 au lieu de 58), les expériences, interrompues momentanément le 20 août à la Tour, ayant été continuées jusqu'à la fin du mois à l'autre station.

Le rapprochement des deux Tableaux, et mieux celui des courbes (*Pl. XII*), montre que *la marche des deux électromètres est complètement opposée de 7^h30^m du matin à 4^h30^m de l'après-midi*. Plus de maximum du matin ni de minimum de jour à la Tour Eiffel; un accroissement à peu près continu du potentiel depuis le minimum de nuit (*qui se produit exactement à la même heure, 4^h du matin, aux deux stations*) jusqu'à 6^h30^m du soir, et, dans l'ensemble, une oscillation simple.

Tel est le résultat remarquable de cette première série d'observations (1).

Pour le mettre hors de doute, bien que les 58 journées utilisées fussent prises parmi les plus belles d'une saison très favorable, quelques-unes pouvant paraître suspectes, soit par la persistance des nuages, soit par la force du vent, nous n'avons conservé, dans un second calcul des moyennes, que 40 jours de ciel très pur et de temps tout à fait calme. La marche diurne qui en résulte est *identique* à la précédente; il est inutile de la reproduire. La seule différence appréciable porte sur la valeur moyenne, un peu plus élevée (4280 volts au lieu de 4010 volts), comme on pouvait s'y attendre en raison de la pureté plus grande du ciel dans les journées choisies.

Les étés de 1894 et de 1895, très troublés, ne nous ont fourni que des séries de beaux jours trop peu nombreuses pour qu'il soit intéressant d'en donner les résultats après ceux de la série précédente, qu'ils confirment sans rien y ajouter de nouveau.

2. *De mai à août 1896.* — Les modifications apportées au collecteur permettant l'emploi de tubes assez courts pour que les potentiels puissent rester compris dans les limites des valeurs directement mesurables à l'électromètre, nous avons, à cette époque, supprimé la cascade intermédiaire et placé le point exploré à 55^{cm} environ de la surface de la Tour. Les moyennes horaires ont été déduites de 45 jours répartis sur les mois de mai, juillet et août et sur la première semaine de septembre. Le mois de juin n'y est pas représenté. Cette série est ainsi moins régulière que celle de 1893. Ses résultats ne paraissent cependant pas moins sûrs. Les moyennes partielles relatives aux mois de mai, juillet et août pris isolément reproduisent toutes, en effet, les caractères généraux de la moyenne d'ensemble.

(1) *Comptes rendus*, t. CXVII, 26 décembre 1893, p. 1069. Une détermination incomplète de la sensibilité de l'électromètre nous a fait donner, dans cette Note, une valeur un peu trop élevée pour le potentiel moyen.

Tour Eiffel.

Mai, juillet et août 1896. — 45 jours.

(En dizaines de volts.)

Mid.	+15	6 ^h s.	+13	Minuit.	-17	6 ^h m.	-30
Mid. 30.	+15	6.30.	+17	Min ^h 30.	-21	6.30.	-18
1 ^h	+13	7.	+23	1 ^h	-24	7.	-4
1.30.	+18	7.30.	+31	1.30.	-31	7.30.	+7
2.	+20	8.	+28	2.	-37	8.	+11
2.30.	+13	8.30.	+23	2.30.	-38	8.30.	+22
3.	+10	9.	+20	3.	-43	9.	+27
3.30.	+11	9.30.	+15	3.30.	-49	9.30.	+29
4.	+8	10.	+8	4.	-51	10.	+26
4.30.	+11	10.30.	+4	4.30.	-54	10.30.	+32
5.	+4	11.	-2	5.	-51	11.	+25
5.30.	+6	11.30.	-9	5.30.	-41	11.30.	+16

Moyenne diurne = 2170 volts (à 0^m,55).

Amplitude nocturne = 0,39.

Outre le maximum secondaire de l'après-midi, que l'on a pu constater également dans les observations de 1893, la variation diurne présente ici deux maxima principaux, celui du soir, à 7^h30^m, en relation évidente avec le maximum de 8^h au voisinage du sol, et un autre, un peu après 10^h du matin, qui retarde de 3^h sur le maximum correspondant au Bureau Central. La courbe présente donc pendant le jour un minimum relatif nettement accusé.

Bien que les observations de cette série, en raison de la lacune de juin et du nombre moindre des journées utilisables, soient inférieures à celles de la série précédente, la reproduction *constante*, dans les moyennes partielles de 1896, de l'accroissement rapide du potentiel entre 8^h et 10^h du matin (accroissement presque nul en 1893) ne permet pas de douter de la réalité de cette différence entre les deux variations.

L'hypothèse d'un caractère climatologique particulier de l'été de 1896 doit être écartée, car la marche du potentiel au Bureau Central pendant cette saison ne présente rien d'anormal. On est alors conduit à se demander si la modification constatée dans la variation diurne du champ ne serait pas en rapport avec la position nouvelle du point exploré, plus près de 1^m,15 de l'armature métallique (1).

(1) Nous avons dit (p. 38) que la densité superficielle sur les parties de l'armature voisines du collecteur peut être considérée comme ayant une valeur au moins 100 fois plus grande qu'à la surface du sol; or, la tension électrique croît comme le carré de ce rapport. La déperdition partielle de cette charge négative sous l'influence des radiations ultraviolettes de la lumière solaire n'est pas une hypothèse invraisemblable, si l'on admet les résultats des expériences de MM. Elster et Geitel [*Beobachtungen des atmosphärischen Potentialgefälles und der ultravioletten Sonnenstrahlung (Sitzungsberichte d. k. Akad. d. Wiss., Wien, t. CI, 1892, p. 703)*]. Une telle action aurait évidemment pour

3. *De juin à août 1897.* — Pour contrôler les résultats de 1896 et pour avoir, à courte distance de la paroi, un ensemble de mesures de valeur équivalente à notre première série, nous avons exécuté les observations de 1897 dans des conditions identiques à celles de l'année précédente, de telle sorte que les résultats fussent exactement comparables pendant les deux saisons consécutives. L'été ne fut point favorable et 36 jours seulement purent être utilisés.

En même temps, nous avons voulu préciser la différence de marche entre les deux variations au voisinage du sol et au sommet de la Tour, et, *pour les mêmes journées, toutes régulières et sans lacunes*, nous avons établi les moyennes horaires des observations du Bureau Central. Les résultats sont donnés par les Tableaux suivants :

Tour Eiffel.

Juin, juillet et août 1897. — 36 jours.

(En dizaines de volts.)

Midi.....	+ 7	6 s.....	+23	Minuit.....	-13	6 m.....	-24
Midi 30.....	+ 4	6.30.....	+26	Min ⁴ 30.....	-16	6.30.....	-16
1 ^h	+14	7.....	+29	1 ^h	-17	7.....	-10
1.30.....	+19	7.30.....	+26	1.30.....	-22	7.30.....	- 1
2.....	+21	8.....	+21	2.....	-29	8.....	0
2.30.....	+20	8.30.....	+20	2.30.....	-36	8.30.....	- 2
3.....	+16	9.....	+16	3.....	-39	9.....	- 9
3.30.....	+17	9.30.....	+11	3.30.....	-39	9.30.....	-12
4.....	+17	10.....	+10	4.....	-43	10.....	- 6
4.30.....	+18	10.30.....	+12	4.30.....	-44	10.30.....	- 3
5.....	+22	11.....	+ 5	5.....	-40	11.....	+ 5
5.30.....	+27	11.30.....	+ 4	5.30.....	-36	11.30.....	+ 1

Moyenne diurne = 2130 volts (à 0^m, 55).

Amplitude nocturne = 0,34.

Bureau Central.

(En volts.)

Midi.....	-36	6 s.....	+ 2	Minuit.....	- 7	6 m.....	+ 9
Midi 30.....	-34	6.30.....	+ 5	Min ⁴ 30.....	- 1	6.30.....	-15
1 ^h	-30	7.....	+19	1 ^h	- 4	7.....	-21
1.30.....	-24	7.30.....	+25	1.30.....	- 1	7.30.....	+35
2.....	-19	8.....	+36	2.....	- 7	8.....	+34
2.30.....	-27	8.30.....	+35	2.30.....	-18	8.30.....	-18
3.....	-27	9.....	+34	3.....	-18	9.....	+10
3.30.....	-24	9.30.....	+28	3.30.....	-19	9.30.....	+ 5
4.....	-21	10.....	+29	4.....	-19	10.....	- 5
4.30.....	-18	10.30.....	+29	4.30.....	-11	10.30.....	-13
5.....	-17	11.....	+22	5.....	- 5	11.....	-20
5.30.....	- 4	11.30.....	+14	5.30.....	0	11.30.....	-32

Moyenne diurne = 133 volts (à 1^m, 40).

Amplitude diurne = 0,54. Amplitude nocturne = 0,41.

effet de déterminer, pendant le jour, dans la variation diurne du champ au voisinage de la surface, des perturbations susceptibles de varier rapidement avec la distance, par suite du vent presque toujours sensible à cette altitude et du balaiement continu des masses d'air électrisées en avant de cette surface.

L'accroissement du potentiel dans la matinée à la Tour Eiffel, moins rapide qu'en 1896, est encore très accentué par rapport aux observations de 1893 et, bien que le minimum secondaire de l'après-midi soit ici à peine sensible, la modification que nous avons signalée comme un effet possible du voisinage de la paroi n'est pas douteuse après cette seconde série. Quant à la différence des variations auprès du sol et au sommet de la Tour, elle ressort assez nettement du rapprochement des deux Tableaux pour qu'il soit inutile d'y insister.

4. *De juin à août 1898.* — Nous avons voulu observer à une distance plus faible encore de la surface. Le tuyau d'écoulement fut raccourci de 20^{cm} de façon à placer à 35^{cm} environ la position moyenne du point de rupture du jet (1). Dans ces conditions, le potentiel diurne moyen étant 1630 volts, et les maxima, par beau temps, ne dépassant pas 2200 volts, la précision des mesures électrométriques directes devait être, en effet, plus complètement assurée.

Les nombres des Tableaux se rapportent à une belle période comprise entre le 16 juin et le 22 août, dans laquelle nous avons eu 48 journées utilisables. Comme précédemment, nous mettons en regard des moyennes de la Tour Eiffel celles du Bureau Central déduites des mêmes journées.

Tour Eiffel.

Juin, juillet et août 1898. — 48 jours.

(En dizaines de volts.)

Midi.....	+ 4	6 ^h s.....	+18	Minuit....	— 5	6 ^h m.....	—27
Midi 30....	+11	6.30.....	+22	Min ^t 30...	—10	6.30.....	—17
1 ^h	+13	7.....	+25	1 ^h	—20	7.....	— 3
1.30.....	+19	7.30.....	+24	1.30.....	—27	7.30.....	+ 5
2.....	+18	8.....	+14	2.....	—31	8.....	+ 8
2.30.....	+15	8.30.....	+15	2.30.....	—39	8.30.....	+16
3.....	+13	9.....	+16	3.....	—42	9.....	+22
3.30.....	+ 8	9.30.....	+14	3.30.....	—45	9.30.....	+22
4.....	+ 8	10.....	+11	4.....	—45	10.....	+20
4.30....	+ 9	10.30.....	+ 8	4.30.....	—42	10.30.....	+17
5.....	+12	11.....	+ 1	5.....	—40	11.....	+ 9
5.30.....	+19	11.30.....	— 1	5.30.....	—37	11.30.....	»

Moyenné diurne = 1630 volts (à 0^m,35).

Amplitude nocturne = 0,43.

(1) La raison principale de cette modification était la suivante. Dans les observations de 1896 et de 1897, le maximum du soir est toujours moins accusé qu'en 1893. On pouvait objecter à ce résultat, d'après ce que nous avons dit sur la sensibilité décroissante de l'électromètre pour les potentiels supérieurs à 2500 volts, que les mesures électrométriques directes ne donnaient pas avec une précision suffisante la valeur du maximum, souvent voisine de cette limite et parfois supérieure. Au contraire, dans les observations de 1893, faites avec une cascade de cinq éléments, l'électromètre n'avait à mesurer que le cinquième du potentiel de la source; celui-ci n'ayant jamais dépassé 6000 volts par beau temps, les déterminations étaient plus sûres. Un doute était donc légitime sur la valeur de la comparaison des deux séries. Les résultats de 1898 ont montré qu'il n'était pas justifié.

Bureau Central.

(En volts.)

Midi.....	-30	6 ^h s.....	-10	Minuit....	+17	6 ^h m.....	+ 2
Midi 30...	-28	6.30.....	+ 9	Min ^t 30...	+ 9	6.30.....	+18
1 ^h	-24	7.....	+20	1 ^h	+ 4	7.....	+23
1.30.....	-17	7.30.....	+38	1.30.....	- 4	7.30.....	+35
2.....	-23	8.....	+34	2.....	-10	8.....	+26
2.30.....	-29	8.30.....	+38	2.30.....	-18	8.30.....	+17
3.....	-27	9.....	+39	3.....	-16	9.....	+12
3.30.....	-31	9.30.....	+32	3.30.....	-22	9.30.....	+ 9
4.....	-31	10.....	+27	4.....	-23	10.....	0
4.30.....	-29	10.30.....	+24	4.30.....	-15	10.30.....	- 3
5.....	-18	11.....	+17	5.....	-11	11.....	-16
5.30.....	-19	11.30.....	+16	5.30.....	- 7	11.30.....	- 27

Moyenne diurne = 137 volts (à 1^m,40).

Amplitude diurne = 0,51. Amplitude nocturne = 0,45.

Le caractère de la variation diurne n'a pas changé et l'influence du voisinage de la surface de la Tour se manifeste de la même façon que dans les années précédentes. *L'existence d'une action perturbatrice de cette surface, pendant le jour, sur la variation diurne observée dans son voisinage, nous paraît donc résulter incontestablement des trois séries que nous venons d'examiner et de leur comparaison avec les résultats obtenus en 1893.*

La marche générale restant la même et toujours caractérisée par un minimum de nuit et un grand maximum de jour, nous voyons dans ce maximum des oscillations secondaires se produire et s'accroître d'autant plus que le point exploré est plus rapproché de la paroi; le minimum secondaire précédant l'heure de midi doit être particulièrement signalé. Il n'est pas sans intérêt de rapprocher cette variation complexe de la triple oscillation observée à Lisbonne, à une altitude élevée et en un point probablement très rapproché des murs de l'Observatoire, si l'on en juge par la faiblesse des potentiels moyens.

Pour représenter aussi exactement que possible cette variation à courte distance de la paroi, nous avons réuni dans une moyenne d'ensemble les observations de ces trois dernières années. Dans les deux premières, 1896 et 1897, les conditions étant les mêmes, les potentiels diurnes, 2170 volts et 2130 volts, sont très voisins. Nous avons considéré le nombre moyen 2150 volts comme représentant la moyenne diurne d'été à 0^m,55 de la surface et nous avons ramené à ce potentiel moyen les observations de 1898, faites à une distance moindre, en les multipliant par le rapport $\frac{2150}{1030}$, soit 1,3 environ.

Tour Eiffel.

VARIATION DIURNE D'ÉTÉ A 0^m,55 DE LA PAROI; 1896 à 1898. — 131 jours.

(En dizaines de volts.)

Midi.....	+ 9	6 ^h s.....	+19	Minuit....	-12	6 ^h m.....	-29
Midi 30..	+11	6.30.....	+23	Min ¹ 30...	-16	6.30.....	-19
1 ^h	+14	7.....	+27	1 ^h	-22	7.....	- 6
1.30.....	+20	7.30.....	+29	1.30.....	-29	7.30.....	+ 4
2.....	+21	8.....	+22	2.....	-37	8.....	+ 7
2.30.....	+17	8.30.....	+21	2.30.....	-42	8.30.....	+16
3.....	+14	9.....	+19	3.....	-45	9.....	+22
3.30.....	+12	9.30.....	+15	3.30.....	-49	9.30.....	+23
4.....	+11	10 ^h	+11	4.....	-51	10.....	+20
4.30.....	+13	10.30....	+ 8	4.30.....	-50	10.30.....	+20
5.....	+13	11.....	+ 2	5.....	-47	11.....	+15
5.30.....	+18	11.30.....	- 4	5.30.....	-41	11.30.....	+ 6

Moyenne diurne = 2150 volts.

Amplitude nocturne = 0,37.

(Voir *Courbe Pl. XII.*)

II. — Septembre 1895 et 1898.

Comme transition entre le régime de la saison chaude et celui des deux premiers mois d'automne, nous reproduisons les résultats de deux bonnes séries d'observations pendant les mois de septembre de 1895 et de 1898, qui furent exceptionnellement beaux.

1. *Septembre* 1895. — Par l'élévation extraordinaire de la température moyenne (supérieure de 3°,5 à la normale) et par son extrême sécheresse (0^{mm},1 d'eau à Paris), ce mois, qui fut de beaucoup le plus chaud et le plus sec de l'année 1895, a constitué une véritable anomalie climatologique. Il était intéressant d'étudier la répercussion de ces caractères exceptionnels sur la variation diurne du potentiel, et nous avons fait de ce mois un groupe à part dans les observations de la Tour et du Bureau Central.

La série dont nous donnons les moyennes comprend 27 journées complètes de temps calme et de ciel à peu près pur. La distance du point exploré à la surface était de 0^m,35 et le potentiel moyen, assez faible, de 1440 volts.

Tour Eiffel.

(En dizaines de volts.)

Septembre 1895. — 27 jours.

Midi.....	+17	6 ^h s.....	+12	Minuit.....	+9	6 ^h m.....	+22
Midi 30...	+19	6.30.....	+13	Min ^h 30...	+13	6.30.....	+17
1 ^h	+17	7.....	+10	1 ^h	+18	7.....	+9
1.30.....	+19	7.30.....	+12	1.30.....	+19	7.30.....	+11
2.....	+14	8.....	+11	2.....	+25	8.....	+5
2.30.....	+12	8.30.....	+14	2.30.....	+27	8.30.....	+4
3.....	+11	9.....	+10	3.....	+29	9.....	+10
3.30.....	+8	9.30.....	+8	3.30.....	+30	9.30.....	+13
4.....	+8	10.....	+5	4.....	+30	10.....	+16
4.30.....	+7	10.30.....	+3	4.30.....	+30	10.30.....	+15
5.....	+9	11.....	+2	5.....	+30	11.....	+14
5.30.....	+15	11.30.....	+5	5.30.....	+28	11.30.....	+14

Moyenne diurne = 1440 volts (à 0^m,35).

Amplitude maxima = 0,35.

Bureau Central.

(En volts.)

Midi.....	+54	6 ^h s.....	+52	Minuit.....	+12	6 ^h m.....	+2
Midi 30...	+57	6.30.....	+87	Min ^h 30...	+8	6.30.....	+20
1 ^h	+61	7.....	+81	1 ^h	+1	7.....	+27
1.30.....	+60	7.30.....	+77	1.30.....	+1	7.30.....	+23
2.....	+63	8.....	+67	2.....	+19	8.....	+22
2.30.....	+68	8.30.....	+63	2.30.....	+26	8.30.....	+5
3.....	+66	9.....	+65	3.....	+23	9.....	+2
3.30.....	+64	9.30.....	+62	3.30.....	+25	9.30.....	+41
4.....	+49	10.....	+46	4.....	+25	10.....	+16
4.30.....	+40	10.30.....	+44	4.30.....	+26	10.30.....	+20
5.....	+14	11.....	+36	5.....	+20	11.....	+31
5.30.....	+27	11.30.....	+24	5.30.....	+11	11.30.....	+48

Moyenne diurne = 182 volts (à 1^m,50).

Amplitude diurne = 0,85. Amplitude nocturne = 0,62.

2. *Septembre 1898.* — Nous comprenons sous ce titre une période qui s'étend en réalité du 26 août au 3 octobre et qui, de caractères climatologiques très différents de ceux de la période précédente, a été aussi régulièrement belle et nous a donné pour les moyennes un nombre égal de journées. Pour la même distance, 0^m,35, le potentiel diurne moyen dépasse ici 2000 volts.

Tour Eiffel. — 28 jours.

(En dizaines de volts.)

Septembre 1898.

Midi.....	+ 6	6 s..... ^h	+26	Minuit.....	-15	6 m..... ^h	-18
Midi 30...	+10	6.30.....	+24	Min ^t 30...	-19	6.30.....	-13
1 ^h	+16	7.....	+25	1 ^h	-20	7.....	- 9
1.30.....	+17	7.30.....	+21	1.30.....	-20	7.30.....	- 7
2.....	+16	8.....	+22	2.....	-27	8.....	- 2
2.30.....	+18	8.30.....	+18	2.30.....	-32	8.30.....	+ 5
3.....	+18	9.....	+15	3.....	-37	9.....	+ 8
3.30.....	+14	9.30.....	+14	3.30.....	-37	9.30.....	+ 8
4.....	+11	10.....	+10	4.....	-36	10.....	+ 9
4.30.....	+16	10.30.....	+ 1	4.30.....	-34	10.30.....	+ 6
5.....	+21	11.....	- 6	5.....	-28	11.....	+ 2
5.30.....	+19	11.30.....	- 8	5.30.....	-29	11.30.....	+10

Moyenne diurne = 2020 volts (à 0^m,35).

Amplitude nocturne = 0,32.

Bureau Central. — 31 jours.

(En volts.)

Midi.....	-37	6 s..... ^h	+42	Minuit.....	- 9	6 m..... ^h	- 8
Midi 30...	-35	6.30.....	+54	Min ^t 30...	-19	6.30.....	- 7
1 ^h	-33	7.....	+68	1 ^h	-18	7.....	+23
1.30.....	-28	7.30.....	+70	1.30.....	-17	7.30.....	+38
2.....	-30	8.....	+56	2.....	-22	8.....	+40
2.30.....	-27	8.30.....	+41	2.30.....	-24	8.30.....	+36
3.....	-31	9.....	+36	3.....	-25	9.....	+28
3.30.....	-35	9.30.....	+25	3.30.....	-30	9.30.....	+24
4.....	-33	10.....	+24	4.....	-35	10.....	+14
4.30.....	-16	10.30.....	- 2	4.30.....	-27	10.30.....	+ 2
5.....	- 5	11.....	-10	5.....	-13	11.....	-20
5.30.....	+16	11.30.....	-10	5.30.....	-15	11.30.....	-29

Moyenne diurne = 154 volts (à 1^m,40).

Amplitude diurne = 0,69. Amplitude nocturne = 0,68.

La comparaison de ces deux mois, tant pour le Bureau Central que pour la Tour Eiffel, peut donner lieu à plusieurs remarques intéressantes. Nous nous bornerons à celle-ci : de l'un à l'autre, la variation du potentiel moyen est de sens contraire au voisinage du sol et au sommet; car la distance du point exploré, plus grande de 0^m,10 au Bureau Central en 1895, ne peut expliquer l'écart de 28 volts entre la moyenne de cette année et celle de 1898 qui, à distance égale, reste encore certainement la plus faible, tandis qu'à la Tour elle dépasse de 600 volts la moyenne de 1895.

III. — Mois d'automne.

1. *Septembre et octobre 1893.* — Ces observations font suite à celles de la première série des mois chauds, mais dans des conditions un peu différentes. Le tube d'écoulement avait été raccourci et la prise de potentiel se trouvait à 1^m,05 au lieu de 1^m,70. A la cascade (M) on avait substitué le modèle (M') (*fig. 6, p. 21*) de même type.

Nous donnons en regard les résultats obtenus à la Tour et au Bureau Central. Ils correspondent à la même période, mais le nombre des jours utilisés est un peu plus grand dans la dernière station.

Tour Eiffel. — 30 jours.

(En dizaines de volts.)

Septembre et octobre 1893.

Midi..... + 9	^h 6 s..... +56	Minuit.... - 4	^h 6 m..... -65
Midi 30.. +24	6.30..... +62	Min ^t 30... - 9	6.30..... -51
1 ^h +53	7..... +65	1 ^h -23	7..... -43
1.30..... +57	7.30..... +51	1.30..... -30	7.30..... -39
2..... +64	8..... +41	2..... -31	8..... -34
2.30..... +71	8.30..... +31	2.30..... -40	8.30..... -36
3..... +72	9..... +32	3..... -48	9..... -45
3.30..... +56	9.30..... +25	3.30..... -57	9.30..... -50
4..... +62	10..... +16	4..... -60	10..... -53
4.30..... +51	10.30..... -13	4.30..... - 66	10.30..... -49
5..... +50	11..... - 6	5..... -65	11..... -35
5.30..... +45	11.30..... - 1	5.30..... -66	11.30..... -21

Moyenne diurne = 2980 volts (à 1^m,05).

Amplitude = 0,50.

Bureau Central. — 39 jours.

(En volts.)

Midi..... -21	^h 6 s..... + 90	Minuit.... -42	^h 6 m..... -12
Midi 30.. -18	6.30..... +100	Min ^t 30... -40	6.30..... +16
1 ^h -10	7..... +103	1 ^h -46	7..... +30
1.30..... -24	7.30..... + 80	1.30..... -45	7.30..... +34
2..... -24	8..... + 59	2..... -52	8..... +33
2.30..... -19	8.30..... + 49	2.30..... -57	8.30..... +29
3..... -21	9..... + 20	3..... -51	9..... +19
3.30..... -11	9.30..... + 8	3.30..... -57	9.30..... + 7
4..... - 4	10..... + 4	4..... -54	10..... - 2
4.30..... +20	10.30..... -17	4.30..... -53	10.30..... - 1
5..... +42	11..... -28	5..... -40	11..... -10
5.30..... +71	11.30..... -33	5.30..... -28	11.30..... - 5

Moyenne diurne = 210 volts (à 1^m,60).

Amplitude diurne = 0,60. Amplitude nocturne = 0,76.

2. *Septembre et octobre 1894.* — 27 journées passables réparties entre le 1^{er} septembre et le 20 octobre. Le point de rupture du jet était à une assez grande distance de la surface : 1^m,50 environ. Le potentiel moyen, 3190 volts, paraît faible, ce qui peut être attribué au ciel un peu nuageux de l'ensemble de cette période. La cascade employée est la même que dans la précédente série.

Tour Eiffel. — 27 jours.

(En dizaines de volts.)

Septembre et octobre 1894.

Midi..... + 19	6 ^h s..... +73	Minuit..... -40	6 ^h m..... -60
Midi 30... + 36	6.30..... +73	Min ^t 30... -44	6.30..... -57
1 ^h + 58	7..... +60	1 ^h -45	7..... -55
1.30..... + 85	7.30..... +44	1.30..... -51	7.30..... -57
2..... + 93	8..... +34	2..... -56	8..... -56
2.30..... + 96	8.30..... +21	2.30..... -61	8.30..... -51
3..... +103	9..... + 7	3..... -65	9..... -45
3.30..... +101	9.30..... - 3	3.30..... -69	9.30..... -40
4..... +100	10..... -11	4..... -69	10..... -33
4.30..... - 93	10.30..... -16	4.30..... -64	10.30..... -29
5..... + 92	11..... -26	5..... -63	11..... -15
5.30..... + 81	11.30..... -31	5.30..... -64	11.30..... - 4

Moyenne diurne = 3190 volts (à 1^m,50).

Amplitude = 0,54.

Bureau central. — 28 jours.

(En volts.)

Midi..... -14	6 ^h s..... +76	Minuit... -21	6 ^h m..... -27
Midi 30... -13	6.30..... +79	Min ^t 30... -30	6.30..... -12
1 ^h -13	7..... +68	1 ^h -29	7..... +13
1.30..... -11	7.30..... +61	1.30..... -41	7.30..... +23
2..... -17	8..... +52	2..... -50	8..... +19
2.30..... -21	8.30..... +33	2.30..... -51	8.30..... +28
3..... -10	9..... +21	3..... -50	9..... +26
3.30..... + 1	9.30..... +14	3.30..... -55	9.30..... +14
4..... +13	10..... - 4	4..... -52	10..... +11
4.30..... +15	10.30..... -15	4.30..... -51	10.30..... +12
5..... +39	11..... -18	5..... -38	11..... - 2
5.30..... +57	11.30..... -22	5.30..... -35	11.30..... -14

Moyenne diurne = 190 volts (à 1^m,50).

Amplitude diurne = 0,51. Amplitude nocturne = 0,71.

Nous avons donné plus haut les résultats du mois de septembre 1895. Le petit nombre des beaux jours du mois d'octobre de la même année, qui fut très humide et sombre, n'a pas permis d'établir une moyenne pour l'ensemble de ces deux mois.

3. *Septembre (du 16) et octobre 1896.* — Mesures électrométriques directes ; la distance du point exploré est réduite à 0^m,60. Ce groupe ne comprend que 17 jours et s'arrête au 31 octobre pour la Tour Eiffel. Les moyennes du Bureau central correspondent à une période un peu plus longue, jusqu'au 12 novembre, et portent sur 26 jours.

Tour Eiffel. — 17 jours.

(En dizaines de volts.)

Septembre et octobre 1896.

Midi.....	+14	6 ^h s.....	+32	Minuit.....	-34	6 ^h m.....	-35
Midi 30...	+25	6.30.....	+39	Min ¹ 30...	38	6.30.....	-20
1 ^h	+35	7.....	+34	1 ^h	-40	7.....	-10
1.30.....	-46	7.30.....	-34	1.30.....	-43	7.30.....	-12
2.....	+56	8.....	+22	2.....	-52	8.....	-4
2.30.....	+48	8.30.....	-15	2.30.....	-53	8.30.....	-6
3.....	+50	9.....	-12	3.....	-53	9.....	-4
3.30.....	+40	9.30.....	-6	3.30.....	-53	9.30.....	-8
4.....	+43	10.....	-2	4.....	-53	10.....	-5
4.30.....	+52	10.30.....	-10	4.30.....	+52	10.30.....	-3
5.....	+45	11.....	-14	5.....	-48	11.....	-2
5.30.....	+38	11.30.....	+24	5.30.....	-45	11.30.....	»

Moyenne diurne = 2350 volts (à 0^m,60).

Amplitude = 0,49.

Bureau central. — 26 jours.

(En volts.)

Midi.....	-18	6 ^h s.....	+49	Minuit.....	-30	6 ^h m.....	-22
Midi 30...	-20	6.30.....	+57	Min ¹ 30...	-30	6.30.....	-4
1 ^h	-22	7.....	+65	1 ^h	-39	7.....	+31
1.30.....	-17	7.30.....	+60	1.30.....	-42	7.30.....	+38
2.....	-16	8.....	+55	2.....	-46	8.....	+34
2.30.....	-17	8.30.....	+46	2.30.....	-44	8.30.....	+23
3.....	-15	9.....	+38	3.....	-45	9.....	+17
3.30.....	-7	9.30.....	+19	3.30.....	-50	9.30.....	+11
4.....	-2	10.....	+9	4.....	-55	10.....	+10
4.30.....	+20	10.30.....	-2	4.30.....	-46	10.30.....	»
5.....	-38	11.....	-7	5.....	-40	11.....	»
5.30.....	-45	11.30.....	-22	5.30.....	-39	11.30.....	»

Moyenne diurne = 197 volts (à 1^m,20).

Amplitude diurne = 0,44. Amplitude nocturne = 0,61.

4. *Septembre et octobre 1897.* — Les observations ont été faites dans les mêmes conditions qu'en 1896, mais la distance d'écoulement, par suite d'un déplacement de l'appareil, est ici un peu moindre : 0^m,55 environ. Les moyennes du Tableau suivant se rapportent à 23 jours, dont 10 de ciel nuageux. Aussi, la

valeur moyenne du potentiel, 1990 volts, est-elle un peu faible; les journées claires donnent, en effet, 2280 volts, les autres 1670 volts. Il en est de même au Bureau central où la série correspondante, plus étendue, comprend 36 jours.

Tour Eiffel. — 23 jours.

(En dizaines de volts.)

Septembre et octobre 1897.

Midi.....	+13	6 ^h s.....	+27	Minuit....	-24	6 ^h m.....	-21
Midi 30...	+18	6.30.....	+28	Min ^t 30...	-29	6.30.....	-15
1 ^h	+20	7.....	+28	1 ^h	-31	7.....	-18
1.30.....	+26	7.30.....	+25	1.30.....	-33	7.30.....	-14
2.....	+31	8.....	+18	2.....	-34	8.....	-11
2.30.....	+32	8.30.....	+15	2.30.....	-30	8.30.....	-5
3.....	+30	9.....	+12	3.....	-33	9.....	+1
3.30.....	+29	9.30.....	+5	3.30.....	-34	9.30.....	+4
4.....	+29	10.....	+2	4.....	-37	10.....	-3
4.30.....	+26	10.30.....	+13	4.30.....	-34	10.30.....	-8
5.....	+29	11.....	+20	5.....	-32	11.....	+11
5.30.....	+29	11.30.....	+21	5.30.....	-27	11.30.....	+18

Moyenne diurne = 1990 volts (à 0^m,55).

Amplitude = 0,35.

Bureau central. — 36 jours.

(En volts.)

Midi.....	-4	6 ^h s.....	+72	Minuit....	-29	6 ^h m.....	-6
Midi 30...	-2	6.30.....	+71	Min ^t 30...	-28	6.30.....	-2
1 ^h	-8	7.....	+51	1 ^h	-28	7.....	+1
1.30.....	+5	7.30.....	+38	1.30.....	-32	7.30.....	+7
2.....	+4	8.....	+25	2.....	-34	8.....	+16
2.30.....	+1	8.30.....	+13	2.30.....	-39	8.30.....	+25
3.....	0	9.....	+1	3.....	-39	9.....	+26
3.30.....	+9	9.30.....	+16	3.30.....	-41	9.30.....	+15
4.....	+16	10.....	+14	4.....	+13	10.....	-6
4.30.....	+25	10.30.....	+27	4.30.....	-35	10.30.....	+6
5.....	+18	11.....	+27	5.....	+24	11.....	-4
5.30.....	+66	11.30.....	+24	5.30.....	-21	11.30.....	-6

Moyenne diurne = 154 volts (à 1^m,40).

Amplitude diurne = 0,52. Amplitude nocturne = 0,75.

La variation diurne au sommet de la Tour Eiffel pendant les deux premiers mois d'automne, telle qu'elle résulte des séries qui précèdent, présente quelques différences assez sensibles avec la variation pendant les mois chauds. Il est intéressant d'en préciser le caractère en cherchant à établir une moyenne d'ensemble des observations faites dans des conditions assez voisines pour

que les mesures puissent être rendues comparables par une correction numérique uniforme des résultats.

Pour cela, nous ne considérerons que les observations de 1895 à 1898, à faibles distances de la paroi (0^m,60; 0^m,55 et 0^m,35). Si l'on compare les potentiels diurnes moyens de ces différentes séries avec les valeurs correspondantes des séries d'été, il est de toute évidence que l'accroissement qui se manifeste très sensiblement au voisinage du sol, de la saison chaude à l'automne, n'existe pas dans les observations de la Tour Eiffel. Cette comparaison conduirait plutôt à croire à une diminution, et la valeur 2130 volts semble la plus probable pour la moyenne diurne d'automne à 0^m,55, le potentiel moyen d'été étant 2150 volts. En négligeant cette différence qui peut être l'effet d'une pureté moins grande du ciel dans la première saison, nous pouvons considérer le potentiel moyen comme constant et ramener à la moyenne diurne 2150 volts les valeurs horaires de nos quatre séries.

On obtient ainsi les nombres suivants, déduits de 120 journées généralement très belles des mois de septembre et octobre 1895, 1896 et 1897, du mois de septembre 1898 et des premières semaines de novembre 1897.

Tour Eiffel.

VARIATION DIURNE D'AUTOMNE A 0^m,55 DE LA PAROI.

Septembre-octobre 1895-1898. — 120 jours.

(En dizaines de volts.)

Midi +13	6 ^h s. +29	Minuit -20	6 ^h m. -26
Midi 30 . . . +19	6.30 -31	Min ^h 30 . . . -25	6.30 -19
1 ^h +24	7 +28	1 ^h -28	7 -13
1.30 +28	7.30 +26	1.30 -30	7.30 -9
2 +30	8 +22	2 -36	8 -4
2.30 +29	8.30 +20	2.30 -39	8.30 -1
3 +29	9 -15	3 -42	9 +5
3.30 +25	9.30 +10	3.30 -41	9.30 +6
4 +25	10 +4	4 -43	10 +7
4.30 +25	10.30 -4	4.30 -40	10.30 +8
5 -28	11 -11	5 -36	11 +8
5.30 -28	11.30 -15	5.30 -35	11.30 +11

Moyenne diurne = 2150 volts environ.

Amplitude nocturne = 0,34.

(Voir *Courbe Pl. XII.*)

La forme simple de l'oscillation diurne est ici plus nette que dans la variation d'été; elle persiste à toute distance de la paroi dont le voisinage paraît avoir une influence beaucoup moins sensible que pendant la saison chaude.

C'est ainsi que le maximum secondaire du matin et le minimum consécutif de midi disparaissent entièrement. Il n'est guère douteux, après cela, que *les complications signalées en été à faible distance de la paroi, et qui se manifestent pendant le jour, ne soient en rapport avec l'élévation de la température ou, plus exactement peut-être, avec l'insolation et la nature des radiations transmises.*

Quant au minimum principal, son heure est toujours la même qu'au voisinage du sol. A la Tour Eiffel comme au Bureau central, il se produit à 4^h du matin.

CHAPITRE IV.

OBSERVATIONS DIVERSES.

I. — Observations sur le pylône de Trappes.

La comparaison des observations du Collège de France et du Bureau central a mis en évidence l'effet des influences locales sur l'allure de la variation diurne. Elle conduit ainsi à considérer comme suspectes toutes les observations faites à l'intérieur d'une ville. D'autre part, les résultats obtenus simultanément au Bureau central et à la Tour Eiffel montrent que, pendant la saison chaude, la loi de la variation diurne change, en se simplifiant, à une altitude suffisante. Il nous a paru intéressant de rechercher si, dans les conditions plus favorables d'une installation en pleine campagne, on pourrait retrouver en été, à une altitude relativement faible au-dessus du sol, une modification sensible de la variation diurne dans le sens indiqué par les observations de la Tour.

Nous avons pu entreprendre cette étude à l'Observatoire de Météorologie dynamique créé à Trappes par M. L. Teisserenc de Bort qui a mis à notre disposition, avec la plus grande bienveillance, toutes les ressources de cet établissement scientifique. Nous lui renouvelons ici nos remerciements, ainsi qu'à son collaborateur, M. Raymond, au dévouement duquel nous avons eu fréquemment recours pour assurer la continuité de ces observations délicates.

Le collecteur à écoulement d'eau (1) fut installé au sommet d'un pylône en bois, d'une hauteur de 20^m, dressé au milieu d'une grande prairie et dont la stabilité est assurée par quatre câbles métalliques tendus entre le sol et la partie supérieure de la charpente. Ce détail a son importance, car il explique la faiblesse relative du potentiel moyen au sommet du pylône par le relèvement des surfaces de niveau le long des faces du tétraèdre dessiné par les quatre câbles de soutien.

Cette valeur moyenne, à 1^m,25 de la charpente du sommet, était d'environ

(1) Cet appareil était celui dont nous avons fait usage à la Tour Eiffel pendant les premières années (*fig. 9, Pl. III*). Il était enfermé dans la même boîte en chêne et reposait sur trois isoloirs à acido sulfurique.

300 volts; elle eût été vraisemblablement de 700 volts à 800 volts si les câbles métalliques n'eussent pas existé. D'après la remarque faite au sujet des observations de la Tour (p. 37), en supposant le champ constant et égal à 75 volts par mètre (valeur d'été), le potentiel moyen à l'altitude de 20^m, dans les conditions où se trouvait notre appareil, est à peu près celui de la surface de niveau s'étendant à 4^m environ au-dessus de la plaine. Quant à l'allure constatée pour la variation diurne, nous devons la considérer comme étant celle que l'on observerait en un point isolé dans l'air libre à une altitude inconnue mais certainement inférieure à 20^m.

Le tuyau d'écoulement, orienté vers le Sud, s'allongeait de 1^m au dehors; la longueur du filet liquide variait de 0^m,30 à 0^m,20, d'un remplissage à l'autre, dans les 24 heures. Un fil métallique fin, tendu à l'intérieur du pylône, reliait directement le collecteur à un support isolant placé dans la salle de l'enregistreur, à la base de la construction.

Les expériences furent commencées le 15 juin 1898 et l'on put constater aussitôt les effets d'une influence perturbatrice que nous n'avions point prévue. Le pylône est à 300^m du chemin de fer; or, à chaque passage de train, pour peu que le vent soufflât dans la direction de notre appareil, les fumées de la locomotive, et surtout les nuages provenant de la condensation de la vapeur, agissaient énergiquement sur l'électromètre. Ces perturbations étaient passagères et ne duraient généralement que quelques minutes, mais le nombre de trains sur cette ligne très fréquentée dépassant parfois cent dans les 24 heures, le phénomène perturbateur cessait d'être négligeable et modifiait sensiblement, sinon l'allure générale, au moins les détails des courbes de l'enregistreur (1).

Toutefois, pour le but spécial que nous nous proposons, ces variations accidentelles n'avaient, en fait, qu'une médiocre importance. Elles étaient aisément éliminées dans le dépouillement des courbes et ne pouvaient guère modifier les valeurs des moyennes déduites de ce dépouillement.

Des inconvénients plus graves devaient apparaître par la suite pour l'entretien de l'isolement des diverses parties de l'appareil. Nous avons dit que la communication était établie entre le collecteur et l'électromètre par un fil métallique, d'une vingtaine de mètres de longueur, tendu à l'intérieur du pylône. Or, les fils d'araignée, dits « fils de la vierge », si abondants dans les premiers jours de l'automne, venaient relier fréquemment le conducteur aux parties voisines de la charpente. Ces fils sont parfaitement isolants quand ils sont secs, mais,

(1) Le passage des trains est indiqué sur ces courbes par un crochet brusque vers les positifs correspondant à un accroissement du potentiel de plusieurs centaines de volts. La ligne du chemin de fer passe à l'ouest du pylône, mais le phénomène était sensible pour toutes les directions du vent comprises dans la moitié au moins de la rose. Il fallait que le vent fût franchement d'Est, ce qui est le régime le moins fréquent, pour qu'aucune action ne se manifestât. En outre, les arrêts des trains à la gare de Trappes donnaient parfois à cette influence une durée notable.

recouverts par la rosée du matin, ils pouvaient établir avec le sol des communications assez complètes pour ramener l'électromètre au zéro. L'ensemble des observations de la nuit devait alors être rejeté, car il eût été difficile de savoir à quel moment l'isolement avait commencé à être insuffisant.

Avec beaucoup de surveillance et en nettoyant, soir et matin, le fil dans toute sa longueur, nous avons pu nous mettre à peu près à l'abri de cette cause d'erreur. Il en est une autre qui n'a pas toujours été combattue avec le même succès. De nombreux insectes, trouvant dans la boîte du collecteur un asile favorable pour la nuit, s'y installaient après le coucher du soleil, et, s'introduisant jusque dans les isolements, établissaient des communications passagères ou permanentes susceptibles de troubler les observations.

Ces inconvénients ne furent réellement sensibles que pendant les mois de septembre et d'octobre. Nous laisserons de côté, pour ce motif, toutes les mesures faites au cours de ces deux mois. Durant les mois de juin, juillet et août, le fonctionnement de l'appareil n'a rien laissé à désirer. Nous y avons veillé nous-même d'une façon constante et nous croyons pouvoir attribuer aux moyennes que nous allons reproduire la même valeur qu'à celles des observations du Bureau central.

Nous mettons les deux séries en regard l'une de l'autre. Pour n'avoir à comparer que des résultats présentant les mêmes garanties d'exactitude; quelques journées du milieu d'août, à Trappes, pouvant être douteuses, nous avons arrêté la période de comparaison au 5 de ce mois. Elle commence le 17 juin et nous a donné, pour le Bureau central, 35 journées utilisables; pour Trappes, 32. Ces journées sont, bien entendu, les mêmes, à trois lacunes près dans la dernière station, par suite d'arrêts dans l'écoulement d'eau du collecteur.

Trappes (Pylône). — 32 jours.

Du 17 juin au 5 août 1898.

Midi.....	+23	6 ^h s.....	-17	Minuit....	- 3	6 m.	-40
Midi 30....	+32	6.30.....	- 2	Min ^h 30...	-20	6.30.....	-12
1 ^h	+36	7.....	- 8	1 ^h	-33	7.....	+10
1.30.....	+19	7.30.....	+20	1.30.....	-39	7.30.....	+ 3
2.....	-31	8.....	+19	2.....	-50	8.....	- 4
2.30.....	+22	8.30.....	+31	2.30.....	-66	8.30.....	-10
3.....	-30	9.....	+53	3.....	-85	9.....	- 2
3.30.....	+18	9.30.....	+69	3.30.....	-90	9.30.....	+21
4.....	+ 2	10.....	+69	4.....	-87	10.....	+ 9
4.30.....	-18	10.30.....	+38	4.30.....	-78	10.30.....	+29
5.....	- 2	11.....	+30	5.....	-67	11.....	+38
5.30.....	- 1	11.30.....	-13	5.30.....	-66	11.30.....	+38

Moyenne diurne = 303 volts.

Amplitude diurne = 0,29. Amplitude nocturne = 0,52.

Bureau central (35 jours).

Midi.....	-30	6 ^h s.....	- 8	Minuit....	+22	6 ^h m.....	+ 2
Midi 30..	-27	6.30.....	+ 5	Min ^t 30..	+14	6.30.....	+16
1 ^h	-21	7.....	+20	1 ^h	+ 6	7.....	+17
1.30.....	-12	7.30.....	+34	1.30.....	+ 2	7.30.....	+34
2.....	-17	8.....	+32	2.....	-10	8.....	+23
2.30.....	-22	8.30.....	+42	2.30.....	-14	8.30.....	+11
3.....	-20	9.....	+38	3.....	-16	9.....	+ 8
3.30.....	-23	9.30.....	+33	3.30.....	-23	9.30.....	+ 3
4.....	-25	10.....	+27	4.....	-23	10.....	- 3
4.30.....	-23	10.30.....	+24	4.30.....	-17	10.30.....	- 4
5.....	-13	11.....	+21	5.....	-12	11.....	-17
5.30.....	-16	11.30.....	+17	5.30.....	-12	11.30.....	-27

Moyenne diurne = 135 volts.

Amplitude diurne = 0,53. Amplitude nocturne = 0,48.

Les allures des deux variations sont fort différentes et nous retrouvons dans celle de Trappes le caractère général de la variation à la Tour Eiffel, avec un minimum de jour peu sensible et un minimum de nuit extrêmement accentué. On peut, pour s'en convaincre, rapprocher ces résultats de ceux que nous avons donnés (p. 83) pour la Tour Eiffel et le Bureau central et qui se rapportent à la même période prolongée jusqu'au 22 août. Les deux courbes du Bureau central sont à très peu près identiques, et la courbe de Trappes présente avec celle de la Tour une analogie qui n'est pas douteuse.

Ainsi, la disparition caractéristique du minimum de jour s'accuse déjà à une faible altitude dans un lieu bien découvert, pendant la saison chaude. Si incomplètes que soient ces expériences sur le pylône de Trappes, elles justifient pleinement les conclusions que nous avons formulées relativement à l'influence du sol sur la marche de la variation diurne.

II. — Observations simultanées en trois points différents au Bureau central météorologique.

La manifestation bien constatée des influences locales conduit encore à se demander dans quelle mesure deux appareils placés au même lieu, mais dans des conditions différentes d'orientation, d'altitude et de situation par rapport aux objets voisins, donneront des résultats analogues. Il est surtout intéressant de savoir comment ces conditions peuvent influencer sur les *variations accidentelles* qui donnent aux courbes des enregistreurs un aspect si particulier. Ces variations n'ont entre elles aucun rapport en deux points de la même région un peu éloignés, de Paris au Parc Saint-Maur, par exemple, ou de Paris à Trappes.

Elles ne diffèrent pas moins dans les deux stations de l'intérieur de Paris, du Bureau central au Collège de France. Sont-elles encore susceptibles de varier, en un lieu déterminé, avec la position du collecteur ?

Pour élucider ces points, deux nouveaux collecteurs furent installés au Bureau central dans des conditions notablement différentes et aussi loin que possible de l'appareil ordinaire. Rappelons que le tube d'écoulement de ce dernier est orienté à peu près vers l'Est, au deuxième et dernier étage d'un bâtiment dont le toit le domine de 3^m et qui forme l'une des quatre faces d'une cour assez vaste et plantée. Le point exploré se trouve ainsi à 10^m au-dessus du sol, mais à 5^m seulement d'une large marquise vitrée sur laquelle vient tomber le jet d'eau.

A l'extrémité du même corps de bâtiment, à 25^m environ de la salle des instruments, est une tourelle assez élevée dont la terrasse supérieure domine complètement les toits voisins. Les deux autres collecteurs furent placés dans cette tourelle, tous deux orientés vers le Nord, l'un sur la terrasse, à 18^m au-dessus du sol, l'autre dans une chambre, à 5^m au-dessous du premier. Le tuyau d'écoulement du réservoir inférieur s'allongeait au-dessus d'un toit qui était à moins de 3^m; cet appareil se trouvait donc, sauf pour l'orientation, dans une situation analogue à celle du collecteur ordinaire. Le réservoir de la terrasse était, au contraire, beaucoup plus dégagé. Les deux électromètres, installés côte à côte, enregistraient leurs indications sur la même feuille d'un enregistreur à cylindre semblable à celui que nous employons à la Tour Eiffel.

Les trois appareils ont fonctionné simultanément pendant 10 mois, de janvier à novembre 1897. Nous désirions, en effet, suivre leurs marches par tous les temps et dans toutes les saisons. Les trois séries de courbes furent soigneusement comparées et nous avons pu constater que, à l'intensité près des phénomènes (1) et par temps calme :

1^o Pour ce qui concerne les variations accidentelles, *les courbes des trois électromètres sont identiques et les moindres crochets de l'une sont identiquement reproduits sur les deux autres.*

2^o Au sujet de la variation diurne, *celle-ci est identiquement la même pour les deux appareils les moins élevés, l'appareil ordinaire et celui de la chambre de la tourelle; elle conserve la même allure, avec une légère modification du minimum de jour et du maximum du matin (qui sont un peu moins accentués), dans les moyennes fournies par le collecteur de la terrasse.*

(1) Les potentiels moyens donnés par les trois appareils, à la même distance du mur, étaient respectivement : 1 pour le collecteur ordinaire, 1,06 pour celui de la chambre de la tourelle, 4,5 pour le collecteur situé sur la terrasse. Les maxima diurnes d'hiver accusés par ce dernier dépassaient fréquemment 1200 volts.

En un lieu déterminé, même à l'intérieur d'une ville, dans des conditions différentes de situation et d'altitude (pourvu que l'un des appareils ne soit pas, ou trop rapproché du sol, ou trop élevé, auquel cas on verrait apparaître des différences de même ordre que dans les deux séries de Batavia ou dans les moyennes du pylône de Trappes et du Bureau central), la variation diurne est bien indépendante de la position occupée par le collecteur. Après ce que nous avons dit des influences locales, cette constatation ne paraîtra sans doute pas inutile pour assurer une signification précise aux observations.

Quant aux variations accidentelles, elles paraissent résulter uniquement de changements rapides dans l'état électrique de l'air, changements auxquels le milieu ambiant peut n'être pas étranger, mais qui se manifestent du moins de manières identiques sur une certaine étendue.

III. — Variations dans le signe du champ avec l'altitude.

Toutefois, par les temps troublés, quand, par l'effet de nuages voisins ou de faibles pluies, des diminutions rapides du potentiel se produisent qui ramènent celui-ci au voisinage du zéro ou le font passer au négatif, nous avons fréquemment observé que cette diminution est d'autant plus prononcée que l'appareil est plus rapproché du sol. Il peut même arriver que *l'appareil inférieur (celui qui se trouve à 10^m) accuse un potentiel négatif, tandis que le collecteur de la terrasse, plus élevé de 8^m, indique un champ faiblement mais nettement positif.*

Cette remarque est intéressante, à cause de la faible différence d'altitude entre les deux stations; mais le fait en lui-même n'est pas nouveau, et Lord Kelvin l'avait constaté dans des expériences simultanées, faites à une fenêtre de la salle de Physique et sur la tour du Collège de l'Université de Glasgow : « Quand le temps était instable, l'électrisation de la surface extérieure du mur de la salle de Physique, à 20 pieds du sol environ et dans l'intérieur d'un rectangle de bâtiments, était positive, tandis que l'électricité superficielle des murs de la tour, à 70 pieds au-dessus, était négative ou presque nulle; et quelquefois ce fait se présentait quand l'électrisation positive des faces du bâtiment à la station inférieure égalait en quantité l'électrisation négative que l'on constate par un beau temps ordinaire. » Et plus loin : « Cet état de choses ne pouvait exister qu'en vertu d'une électrisation négative de l'air ambiant, produisant par induction une électrisation positive sur le sol et sur les faces du bâtiment, mais une électrisation insuffisante pour contre-balancer l'influence exercée sur les parties supérieures de la tour par des masses d'air positives plus éloignées (1). »

(1) Conférence sur l'électricité atmosphérique faite à la *Roy. Institution*. (Traduction française dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 4^e série, t. VII, 1866.)

Entre le sommet de la Tour Eiffel et le Bureau central, ce changement de signe du champ, dans le sens que nous venons d'indiquer, *se présente très fréquemment*. Il est pour ainsi dire constant par certaines pluies tranquilles qui donnent, au voisinage du sol, des potentiels nettement négatifs, alors que l'électromètre de la station supérieure n'accuse qu'une diminution, parfois très faible, du potentiel positif normal. Nous l'avons souvent observé par ciel clair, sous l'influence de ces brouillards légers qui, par des nuits d'été un peu fraîches, se produisent à la surface du sol; la courbe de l'enregistreur peut n'offrir aucune modification sensible à la Tour, tandis qu'elle s'abaisse brusquement et passe au négatif dans les régions inférieures.

Les brouillards du matin donnent lieu au même phénomène et parfois avec une intensité remarquable. Nous citerons comme exemple une observation du 3 octobre 1896, dans laquelle on trouve au même moment (8^h30^m a. m.), à la Tour, un potentiel positif de 2000 volts à 0^m,65 de la surface, au Bureau central une déviation négative de l'électromètre en dehors du champ de l'enregistreur et correspondant, par suite, à plus de 200 volts. Le ciel était alors sans nuages; un brouillard assez fort s'était montré le matin, et la brume, à 10^h, était encore très sensible à l'horizon.

IV. — Champ négatif par ciel serein.

Le changement de signe du champ dans la verticale peut se produire par beau temps, dans le cas, relativement rare dans nos régions, où, le vent étant nul et le ciel parfaitement clair, sans brume ni brouillard, le sens de la force normale est momentanément renversé au voisinage du sol.

Ce fait d'une électrisation positive accidentelle et locale de la surface de la terre, par ciel serein, est incontestable. Il a été signalé par les plus anciens observateurs, Beccaria, Schübler, Dellmann. MM. Palmieri, F. Dellmann et André l'ont constaté à diverses reprises, et nous l'avons observé nous-même, sept ou huit fois, au moins, pendant ces 10 dernières années, par des temps absolument purs. Il a cependant été nié fréquemment et son interprétation a donné lieu à d'assez vives discussions.

Suivant M. Palmieri (1), toute manifestation négative par beau temps doit être rattachée à une chute de pluie survenue dans une région voisine.

F. Dellmann (2) croit à une relation entre ce phénomène et un état particulier d'ozonisation de l'air.

(1) *Lois et origines, etc...* (Trad. franç., p. 30 et 37); et *Lumière électrique*, t. XLII, 1891, et t. XLV, 1892.

(2) *Ueber die Erscheinung der negativen Luftelektricität bei heiterem Himmel* (*Poggend. Ann.*, 1885).

Exner (1) l'explique par la présence de poussières dans l'air. Il résulte, en effet, d'observations faites par ce physicien au Caire, que la poussière de l'air diminue la valeur du potentiel. Dans le cas où il règne un vent violent, la diminution peut être tellement énergique que le potentiel change de signe et devient négatif. C'est un fait analogue qui fut observé autrefois par W. Siemens (2) au sommet de la pyramide de Chéops: le ciel étant très pur, mais un vent violent chargé de sable soufflant du désert, les manifestations négatives furent assez fortes pour permettre de tirer des étincelles d'une bouteille de Leyde, sommairement établie sur place, qui se chargeait dans le courant des poussières électrisées. Diverses observations de Palmieri (3), sur les effets électriques des chutes de cendres au voisinage du Vésuve, concordent avec cette explication.

M. André (4) a étudié les conditions météorologiques dans lesquelles se produit le phénomène, constaté par lui trois fois, à l'Observatoire de Lyon, pendant une période de 5 ans. Il a montré que ni l'hypothèse de Palmieri, ni celle d'Exner n'étaient applicables à ses observations et, après avoir remarqué que, dans les trois cas, le passage au négatif a eu lieu sensiblement à la même heure dans l'après-midi, il le considère comme une simple exagération du minimum de jour et d'un mode particulier de la variation diurne, mode caractéristique, suivant les idées de M. André, d'un régime de vent du sud. M. André observe encore que l'état météorologique, sensiblement le même dans les trois observations, est caractérisé par une température élevée avec distribution anormale dans la verticale, un état hygrométrique très faible, une très grande transparence de l'atmosphère, un vent de sud fort ou très fort.

Il semble que cette constatation d'un vent fort accompagnant les manifestations négatives ne permette pas d'écarter absolument l'explication d'Exner. D'autre part, M. Le Cadet donne dans son Mémoire (5) la reproduction d'une courbe fournie par l'enregistreur de Lyon, le 13 avril 1893, dans laquelle le potentiel devient négatif un peu avant midi, par très beau temps et vent plein nord assez fort ou fort. Il ne paraît donc pas qu'un régime de vent du sud soit nécessaire au renversement du signe normal par ciel serein.

L'étude comparative des résultats obtenus au Collège de France, au Bureau central et à la Tour Eiffel nous a donné, sur ce sujet, des indications d'un grand intérêt.

(1) *Beobachtungen über atm. Elektr. in den Tropen* (Sitzungsb. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, t. XCVIII, 1889, p. 1004).

(2) *Poggend. Ann.*, t. CIX, 1860, p. 355.

(3) *Loc. cit.*, p. 45.

(4) *Relation des phénomènes météorologiques, etc.*, p. 103 et 133.

(5) *Étude du champ électrique de l'atmosphère*; Lyon, 1898.

L'observation d'un champ négatif par beau temps est beaucoup plus fréquente au Collège de France qu'au Bureau central; elle est extrêmement rare à la Tour Eiffel.

Nous avons dit précédemment que les enregistreurs des deux premières stations avaient fonctionné simultanément du mois d'août 1891 à la fin de 1893. Durant cette période, nous avons noté environ dix observations d'électricité négative, par ciel très pur, au Collège de France. Dans la moitié des cas, les courbes du Bureau central n'ont accusé *aucune modification correspondante*, deux fois elles ont indiqué une diminution nette du potentiel sans passage au négatif, et trois ou quatre fois le champ s'est montré simultanément négatif aux deux stations.

A la Tour Eiffel, pendant nos 7 années d'observations, ce phénomène n'a été nettement constaté qu'une seule fois, le 30 juin 1894. Ce jour-là, par un ciel parfaitement serein et vent d'est modéré, le potentiel fut très fréquemment négatif au Bureau central, de 1^h 30^m à 5^h 30^m de l'après-midi (1). Au moment où ces manifestations négatives au voisinage du sol étaient particulièrement fortes, vers 2^h 30^m, le champ se montra également négatif au sommet de la Tour, à trois reprises, mais d'une façon pour ainsi dire accidentelle et non persistante, bien qu'elle fût en concordance parfaite avec les changements de signe à la station inférieure.

L'influence du voisinage du sol dans la production de ce phénomène est donc évidente; cependant, la cause reste incertaine. L'action des poussières négatives peut être invoquée dans les stations basses, mais nous n'avons trouvé aucune cause particulière du développement de ces poussières aux jours et aux heures des observations précédentes. Elle est d'ailleurs tout à fait improbable au sommet de la Tour Eiffel, où la poussière est à peu près nulle en tout temps.

Un effet des masses négatives émanées du sol par suite d'une déperdition de sa charge dans l'atmosphère, soit par la vapeur d'eau (Peltier), soit par une action photo-électrique de la radiation solaire (Elster et Geitel), pourrait être plus facilement admis. C'est ce qui paraît résulter de la fréquence de ces changements de signe dans les régions équatoriales, d'après les observations faites à l'Observatoire de Batavia. Dans cette station, pendant les mois les plus secs (c'est-à-dire ceux pendant lesquels l'évaporation et l'insolation sont plus intenses) et particulièrement d'août à octobre, le potentiel est, pour ainsi dire, *normalement négatif aux heures les plus chaudes du jour, de 2^h à 4^h de l'après-midi*. Les valeurs négatives sont, du moins, si nombreuses et si importantes qu'elles donnent leur signe aux moyennes horaires mensuelles, et cela, parfois, depuis 10^h du matin jusqu'à 5^h du soir.

(1) Entre 2^h et 3^h le potentiel est resté négatif pendant plus de 30 minutes et sa valeur absolue a dépassé 60 volts.

Ce fait est remarquable et doit être retenu. Il montre que le changement de signe du champ peut n'être, suivant l'expression de M. André, qu'une exagération du minimum de jour caractéristique de la saison chaude au voisinage du sol. C'est, en outre, une des plus fortes présomptions que l'on puisse invoquer en faveur de l'existence de masses électriques négatives dans les couches basses, par beau temps et en dehors de tout accident météorologique.

V. — Recherches sur l'électrisation propre de l'air.

A la Conférence internationale de 1882, Lord Kelvin avait insisté sur l'intérêt de recherches sur l'électrisation propre de l'air, faites avec un appareil à écoulement fonctionnant à l'intérieur d'une cage métallique à mailles larges et située de telle sorte que l'air, en s'y renouvelant aisément, représente à chaque instant un échantillon exact de l'air extérieur (1). Il serait possible de découvrir ainsi, si elle existe, une relation entre les variations rapides du potentiel révélées par l'enregistreur et des modifications correspondantes dans l'état électrique de l'air ambiant.

Pour répondre au désir exprimé par l'illustre physicien, M. Ròiti exécuta à son Laboratoire de Florence, dans les conditions indiquées, une série de mesures dont les résultats furent communiqués à la Conférence, dans sa deuxième session, en 1884 (2).

Les cages en treillis métallique (cuivre) employées par M. Ròiti, de forme cylindrique, avaient une hauteur de 1^m, 80 environ et un diamètre de 0^m, 90; les mailles en étaient tantôt larges (3^{cm}), tantôt très étroites (3^{mm} à 4^{mm}). La cage était reliée au sol par un fil de même métal, et le tuyau d'un appareil à écoulement, protégé par une gaine métallique contre toute influence extérieure, aboutissait vers son milieu. Le potentiel observé, inférieur à 1 volt et toujours positif par beau temps, présentait des variations qui ont paru à M. Ròiti concorder exactement avec les variations du potentiel observé simultanément à l'air libre.

Cherchons d'abord à préciser le sens des résultats ainsi obtenus.

Supposons, pour avoir un calcul simple, que la cage métallique, en communication avec le sol, soit sphérique et de rayon R ; désignons par ρ la densité électrique uniforme de l'air qu'elle renferme, par V le potentiel constaté au centre. V est égal à la somme, de 0 à R , des potentiels dus aux couches concentriques, moins le potentiel dû à la masse équivalente et de signe contraire à la

(1) Conférence internationale pour la détermination des Unités électriques. Première session, 1882: *Procès-verbaux*, p. 89.

(2) Conférence internationale pour la détermination des Unités électriques. Deuxième session, 1884, p. 69 et suivantes. — *Lumière électrique*, t. XIII, p. 462.

masse totale $\frac{4}{3} \pi \rho R^3$ distribuée sur la surface interne de la sphère conductrice :

$$V = 4 \pi \rho \int_0^R r dr = \frac{4}{3} \pi \rho R^3 = \frac{2}{3} \pi \rho R^3.$$

On a, par suite, pour l'expression de la densité cubique ρ en fonction du potentiel au centre, supposé connu,

$$\rho = \frac{3}{2\pi} \frac{V}{R^3}.$$

Il est facile de voir que, à moins de supposer à l'air une charge électrique considérable et hors de proportion avec celle de la surface du sol dans les conditions normales et par beau temps, on ne peut avoir, avec des cages du volume de celles qu'a employées M. Røiti, que des valeurs très faibles pour V . En effet, la densité négative superficielle, résultant à la surface de la Terre d'un champ de 100 volts par mètre (ou $\frac{10^{-2}}{3}$ un. électrost. C. G. S. par c. m.), qu'on peut considérer comme une valeur moyenne, est, d'après la formule $\frac{dV}{dn} = -4\pi\rho$,

$$\rho = -2,7 \cdot 10^{-3}.$$

Admettons que dans les 100 premiers mètres de l'atmosphère il existe une charge positive ou négative égale à la charge du sol, la masse électrique dans 1 cm^3 d'air, ou la densité cubique, sera, abstraction faite du signe, $\rho = 2,7 \cdot 10^{-8}$. Au centre d'une sphère conductrice, d'un volume de 2 m^3 ($R = 0,80$), on aurait alors

$$V = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ unités électrostatiques C. G. S.} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ volts environ.}$$

Ainsi, dans l'hypothèse que nous avons faite, et qui est vraisemblablement très exagérée, sur la charge électrique normale de l'air, la différence de potentiel entre le centre de la cage et la surface serait de l'ordre du dixième de volt, le signe de cette différence étant celui de la charge de l'air étudié.

Les observations de M. Røiti donnent un potentiel normalement positif; l'air au voisinage du sol serait donc électrisé positivement. Quant à la valeur de ce potentiel, bien que toujours inférieure à 1 volt, elle paraît excessive. Cependant, si l'on écarte l'hypothèse d'une influence extérieure et d'une protection insuffisante du grillage métallique, aucune objection ne paraît pouvoir être faite à ces expériences. La cage et les fils de jonction avec le sol et l'électromètre étant de même métal, et la différence de potentiel au contact, entre l'eau et le cuivre, étant sensiblement nulle, l'influence de l'enveloppe doit être négligeable. D'autre part, il ne semble pas qu'il y ait lieu de faire intervenir les phénomènes électriques résultant de l'écoulement des liquides dans les gaz (ou, plus exactement, de leur chute et du choc contre un obstacle), tels qu'ils ont été étudiés, notamment, par

M. Lenard (1) dans ses belles recherches sur l'électricité développée au voisinage des chutes d'eau : on sait qu'il naît ainsi une force électromotrice, variable de sens et d'intensité suivant les impuretés du liquide, et qui, dans le cas de l'eau ordinaire, donne à celle-ci une charge positive, l'air prenant une charge négative. Quoi qu'il en soit, tout effet perturbateur s'introduirait comme une constante; en enlevant toute signification précise aux mesures, il laisserait encore subsister le fait des variations de l'état électrique, constatées par M. Røiti, et de leur concordance avec les variations du potentiel de l'air extérieur.

Malgré l'incertitude probable des résultats, il nous a paru intéressant de reprendre ces expériences au sommet de la Tour Eiffel.

Pour cela, un appareil à écoulement, formé d'un vase de verre d'une vingtaine de litres de capacité, fut installé à l'intérieur d'une cage en treillis de fil de fer non galvanisé, à mailles de 15^{mm}, établie dans la carcasse du pilier Ouest, au-dessus du toit de la salle de notre enregistreur (2). Le fil de cuivre reliant le liquide du vase à l'électromètre descendait directement dans cette salle, à travers le toit, et se trouvait ainsi complètement à l'abri des actions extérieures. La cage, en forme de parallélépipède rectangle, avait un volume d'environ 2^m, notablement supérieur à celui de la cage de M. Røiti. Elle était reliée par un fil de cuivre aux conduites d'eau de la Tour.

Disons de suite que, malgré tous nos efforts pour obtenir un enregistrement régulier, les résultats n'ont pas été ceux que nous avions espérés. L'usage d'un électromètre sensible présente de grandes difficultés au sommet de la Tour Eiffel. Les vibrations et les oscillations très appréciables de ce sommet donnent à l'aiguille une agitation continuelle, si elle n'est pas suffisamment lourde et très amortie. Dans une première série de mesures, en 1894, nous n'avons réussi à obtenir un tracé à peu près net qu'en réduisant la sensibilité à 1 volt par millimètre d'écart sur l'échelle de l'enregistreur. Nous avons repris ces expériences en 1896, et, en augmentant le nombre des éléments de la pile de charge, nous avons pu atteindre 2 volts. Dans des conditions aussi défavorables, nous ne pouvions chercher qu'à constater le signe et, approximativement, l'ordre de grandeur du phénomène.

Nos deux séries de mesures de 1894 et 1896 ont été poursuivies pendant 1 mois. Dans chacune d'elles, nous avons toujours observé, par beau temps, une valeur positive du potentiel voisine de 1 volt et plutôt supérieure. Quant aux

(1) *Ueber die Electricität der Wasserfälle* (*Wiedem. Ann.*, t. XLVI, 1892, p. 584).

(2) Cette cage, ou plus exactement le cadre en bois de l'une de ses faces, est visible sur la figure 14 (*Pl. IV*), à la base du pilier, immédiatement au-dessus du toit.

variations au cours de la journée, elles nous ont paru faibles; mais elles étaient difficilement appréciables avec la sensibilité médiocre de notre instrument.

Nous devons ajouter que, pendant la durée des expériences sur l'air de la cage, le fonctionnement de l'appareil ordinaire était nécessairement interrompu. La présence, à l'intérieur de la salle de l'enregistreur, du conducteur fortement électrisé reliant le collecteur à son électromètre, aurait agi sur l'instrument plus sensible placé dans le voisinage. On aurait pu protéger celui-ci contre cette influence, mais, pour éviter toute incertitude sur l'efficacité de la protection, nous avons préféré la rendre inutile en maintenant l'appareil ordinaire au sol. D'autre part, nous nous étions assuré, par des mesures à blanc prolongées pendant 24 heures, que la flamme de la lampe n'apportait, à aucun moment, de modifications appréciables dans l'état électrique de l'air de la salle.

On opérait de la manière suivante :

L'appareil étant mis au sol par la borne de l'électromètre, on effectuait le remplissage du flacon; pendant cette opération, on obtenait sur l'enregistreur la trace du zéro de l'électromètre. On isolait alors l'aiguille et, avant d'ouvrir le robinet d'écoulement, on continuait l'enregistrement pendant quelques minutes pour s'assurer que l'appareil ne prenait aucune charge. On faisait ensuite couler le liquide. Les déviations observées mesuraient la somme des effets dus, d'une part à l'électrisation de l'air, de l'autre à la différence de potentiel entre le métal de la cage et le cuivre, ce dernier effet de même sens et certainement inférieur à 0,3 volt, d'après les nombres donnés par M. Pellat (¹).

Nous avons dit que le potentiel mesuré était généralement un peu supérieur à 1 volt; de même que dans les expériences de M. Ròiti, l'air semble donc avoir normalement une électrisation positive. En réalité, et bien que M. Ròiti paraisse avoir répondu d'avance à cette objection (²), on peut se demander si la cage en treillis métallique constitue une protection absolue contre les actions extérieures et si la même incertitude ne peut pas exister, de ce fait, sur ses résultats et sur les nôtres. Des expériences anciennes de M. Pellat et certaines particularités de nos observations nous font croire qu'un doute est encore possible sur ce point.

Par les temps orageux, de même que par certaines chutes de pluie ou de neige, il peut exister accidentellement sur l'air des charges électriques considérables

(¹) *Différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux en contact* (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 5^e série, t. XXIV, 1881).

(²) Après avoir opéré avec des cages en treillis à mailles de plus en plus fines, M. Ròiti s'est servi d'une caisse métallique à parois pleines où la circulation de l'air n'était assurée que par quelques orifices assez étroits percés sur deux faces opposées. Les résultats furent constamment les mêmes et la même concordance fut observée entre les variations du potentiel à l'air libre et à l'intérieur de la caisse.

et l'appareil de la cage nous a, en effet, donné parfois de fortes déviations à l'électromètre, *en dehors de toute précipitation d'eau*.

Quelque doute que l'on puisse avoir sur l'interprétation du fait, le transport de grandes masses d'air électrisé pendant les orages semble peu contestable. Pour apprécier les charges que l'air serait ainsi susceptible de prendre, admettons l'efficacité protectrice de la cage. Les potentiels observés atteignaient 40 et même 50 volts; la densité électrique correspondante, d'après la formule que nous avons donnée plus haut, est

$$\rho = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ unités électrostatiques C. G. S.}$$

Dans un travail publié en 1894 ⁽¹⁾, Lord Kelvin et M. Magnus Maclean ont étudié l'électrisation et la désélectrisation d'une masse d'air, soigneusement débarrassée de toute poussière, enfermée dans une caisse métallique et chargée artificiellement par des pointes ou flammes reliées à une machine électrostatique. Un appareil à écoulement d'eau, dont le jet aboutissait au centre de l'enceinte, permettait de mesurer la différence de potentiel entre ce point et la paroi en communication avec le sol.

La caisse était assimilable, par sa forme générale et son volume, à une sphère conductrice de 1^m de diamètre ($R = 50$). En prenant, parmi les plus fortes valeurs obtenues dans ces expériences, $V = 40$ volts $= 1,3 \cdot 10^{-4}$ C. G. S., on a, pour la densité électrique dans l'air de l'enceinte,

$$\rho = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ unités électrostatiques C. G. S. environ.}$$

La charge réalisée artificiellement dans l'expérience de Lord Kelvin et Magnus Maclean est donc précisément du même ordre de grandeur (valeur à peu près exactement double) que celle que nous avons déduite de notre observation ⁽²⁾.

⁽¹⁾ *On the Electrification of air* (*Proc. Roy. Soc.*, 31 mai 1894, t. LVI, p. 84; et *Philos. Mag.*, t. XXXVIII, p. 225).

⁽²⁾ Une erreur de calcul, que nous avons pris la liberté de signaler à Lord Kelvin, et qui a dû faire, depuis, l'objet d'une rectification des auteurs dans les *Proceedings*, conduit à modifier complètement, ou même à supprimer, les considérations météorologiques qui terminent le Mémoire précédemment cité. Ces considérations sont, en effet, basées sur une valeur numérique de la force électrostatique à l'intérieur d'une masse d'air électrisé qui est 1 million de fois trop forte.

CHAPITRE V.

LOI GÉNÉRALE DE LA VARIATION DIURNE.

I. — Comparaison des résultats obtenus à la Tour Eiffel et au Bureau central météorologique.

Nous avons cherché, dans les Chapitres qui précèdent, à mettre bien en relief les deux faits suivants :

1° L'allure générale de la variation diurne du champ électrique, observée au voisinage du sol, n'est pas la même pendant l'hiver et pendant l'été. Les observations recueillies dans les régions équatoriales et dans les régions polaires confirment la distinction que nous avons cru pouvoir établir, pour nos climats tempérés, entre les deux types de variation correspondant à la saison chaude et à la saison froide.

2° L'allure de la variation diurne peut être modifiée profondément suivant la position du point exploré par rapport au sol et aux objets voisins. Une influence de cette nature est, notamment, rendue manifeste par la comparaison des résultats obtenus au Collège de France et au Bureau central.

D'autre part, nous avons fait remarquer que les modifications résultant des situations différentes du collecteur sont surtout sensibles pendant la saison chaude, et que les variations d'hiver, dans deux stations, peuvent être à très peu près identiques, tandis que les variations d'été sont entièrement dissemblables. Il paraît alors probable que l'existence de types saisonniers différents pour la variation diurne, dans une station déterminée, n'est qu'un effet de l'influence du sol variable avec la saison. Cette influence étant moindre pendant l'hiver, le type correspondant de la variation diurne doit se rapprocher davantage de la loi véritable de cette variation, telle qu'elle résulte des causes générales qui la déterminent et en dehors de toute influence perturbatrice. C'est à la connaissance de cette loi que semble pouvoir conduire la comparaison des résultats obtenus simultanément au Bureau central et au sommet de la Tour Eiffel.

Sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans le détail des nombres, la simple inspection des courbes représentatives des variations diurnes d'été et d'automne

dans les deux stations (*Pl. XII*) montre tout d'abord que, *tandis que le minimum de nuit s'accuse aux deux altitudes et s'y produit rigoureusement à la même heure (4^h du matin), au minimum de jour constaté au voisinage du sol et d'autant plus accentué que la saison est plus chaude correspond, à la Tour, un maximum.*

L'heure du minimum de nuit ne semble pas varier avec la saison. On peut donc le considérer comme n'ayant aucune relation, soit avec le minimum de température (avec lequel il coïncide à peu près en été), soit avec le lever du soleil; et la cause en est indépendante des conditions locales, puisqu'il a lieu au même moment quelle que soit l'altitude.

Le minimum de jour au voisinage du sol est, au contraire, en rapport évident avec l'élévation de la température ou l'un de ses effets. Dans les observations du Collège de France et du Bureau central, comme dans celles de Batavia, nous l'avons vu se prononcer d'autant plus que le collecteur est moins dégagé; il s'atténue considérablement et peut même disparaître pendant la saison froide; à la Tour Eiffel, on ne peut plus le constater que comme une oscillation secondaire et faible au milieu du maximum général de jour, en été seulement et dans les observations faites à courte distance de la paroi. L'influence du sol sur la variation diurne apparaît ici incontestable. Elle complique le phénomène par une action perturbatrice, maxima en été, se manifestant par un affaiblissement du champ durant les heures chaudes du jour et qui masque ainsi la loi véritable de la variation.

Si l'on rapproche maintenant la courbe caractéristique du régime d'hiver au Bureau central de celle qui représente la variation diurne d'été à la Tour Eiffel à 0^m, 55 de l'armature métallique (*Pl. XII*), on ne peut qu'être frappé de leur analogie : *la variation diurne d'hiver au voisinage du sol a la même allure que la variation diurne pendant les mois d'été au sommet de la Tour Eiffel et à faible distance de la paroi.*

De part et d'autre, des actions perturbatrices subsistent, mais très amoindries. On peut les atténuer à la Tour en observant à une distance plus grande de sa surface, et nous voyons, en effet, dans la première série de nos observations, celles de 1893 faites à 1^m, 70, l'oscillation diurne tendre vers une forme manifestement simple. Ce caractère est plus net encore dans les observations d'automne où le maximum de jour se régularise et où l'oscillation secondaire du matin disparaît, même à courte distance de la paroi.

L'influence de la température est évidente sur le développement de l'action perturbatrice. Nos observations sur ce point sont cependant incomplètes, puisqu'elles ne portent que sur les mois d'été et les deux premiers mois d'automne. D'autre part, si la forme simple de l'oscillation diurne, à une altitude suffisante, n'est pas douteuse, un seul de ses points topiques, le minimum

de 4^h du matin, est bien déterminé; le dessin du maximum de jour reste incertain et des moyennes d'hiver auraient été nécessaires pour le préciser.

En tenant compte de cette lacune, nous concluons de tous les résultats qui précèdent que: *la loi générale de la variation diurne du champ électrique terrestre, en dehors de toute influence perturbatrice, se traduit, dans son ensemble, par une oscillation simple avec un maximum encore mal déterminé pendant le jour et un minimum remarquablement constant vers 4^h du matin.*

Dans une série d'observations au sommet du Sonnblick, à l'altitude de 3000^m, MM. Elster et Geitel (1) ont constaté la disparition des deux maxima du matin et du soir dans l'oscillation diurne et la substitution au minimum de l'après-midi d'un maximum unique résultant, en quelque sorte, de la fusion des deux maxima qui l'encadrent au voisinage du sol. Bien que les conditions ne soient pas absolument comparables, ce résultat s'accorde avec celui de nos observations. MM. Elster et Geitel ont signalé en outre, à cette altitude, une constance remarquable du potentiel diurne moyen qui, de l'été à l'hiver, varie environ du simple au double (2) dans les couches basses.

Les observations d'hiver nous manquent pour la constatation de ce fait à la Tour Eiffel. On peut néanmoins le considérer comme probable d'après les seules observations d'automne. Nous avons vu, en effet (Chap. III, p. 92), que la moyenne diurne des deux mois de septembre et octobre à la Tour ne paraît pas différer sensiblement de la moyenne diurne d'été, tandis que, au Bureau central, le même élément varie de 134 à 168 volts, de cette dernière saison à la première (Chap. III, p. 73 et 75). L'affaiblissement observé pendant l'été au voisinage du sol serait dû à la même cause perturbatrice que le minimum de l'oscillation diurne durant les heures chaudes du jour, et, sous les réserves nécessitées par des données aussi incomplètes, on peut dire: *de même que la variation diurne se simplifie quand l'altitude augmente, la variation annuelle, en se modifiant dans le même sens, tend à disparaître.*

Une autre conséquence importante de la comparaison de nos observations d'été et d'automne doit être indiquée.

Les mesures en ballon exécutées dans ces dernières années par MM. Bornstein, Baschin, Tuma et Le Cadet ne laissent aucun doute sur la décroissance du champ quand l'altitude augmente; mais le fait n'est établi que pour les régions élevées de l'atmosphère, au-dessus de 1000^m par exemple, les expé-

(1) *Beobachtungen der normalen atmosph. Elektr. auf dem Sonnblick (Sitzungsber. Akad. Wien, t. CI, 1893, p. 1295).*

(2) MM. Elster et Geitel admettent pour la variation annuelle auprès du sol une valeur beaucoup plus considérable et que nous croyons erronée.

riences ne pouvant être poursuivies méthodiquement qu'à partir du moment où le ballon, parvenu à une certaine hauteur, se déplace moins rapidement dans la verticale. L'importance de ce résultat, au point de vue théorique, est considérable; il établit, en effet, la prédominance de masses électriques positives dans les régions de l'atmosphère où il a été constaté.

L'état électrique des couches inférieures reste inconnu. Quelques expériences faites par M. Exner, à l'aide de ballonnets captifs gonflés d'hydrogène et munis de mèches, soit au-dessus de plaines basses, soit au-dessus de plateaux élevés, n'ont pas fourni de résultats très nets et ne sauraient être invoquées. Aucune série de mesures n'existe, à notre connaissance, qui puisse indiquer avec quelque certitude la loi ou simplement le sens de la variation du champ dans les 500 ou 600 premiers mètres au-dessus du sol. Les observations de la Tour Eiffel ne permettent évidemment pas de résoudre la question, car elles ne donnent rien sur la valeur du champ dans l'air libre; elles fournissent pourtant à ce sujet une indication qui n'est pas sans intérêt.

Nous avons dit que, de l'été à l'automne, le potentiel diurne moyen varie de 134 volts à 168 volts au Bureau central, tandis qu'il reste constant au voisinage du sommet de la Tour. D'une saison à l'autre, les surfaces de niveau se serrent auprès du sol et ne changent pas sensiblement à une certaine hauteur, moindre que 300^m, au-dessus de la surface. Il en résulte que *le champ n'est pas constant quand on s'élève depuis le sol jusqu'à cette hauteur*, car, si on le suppose tel en été, il ne l'est certainement plus en automne et *vice versa*; or, aucune raison n'existe pour que cette constance se manifeste dans une saison plutôt que dans une autre. Il est, du moins, beaucoup plus probable que la variation inconnue conserve le même sens pendant l'année, la loi seule se modifiant avec les saisons.

Nous avons étudié dans ses principales manifestations, pour la variation diurne et pour la variation annuelle, l'influence perturbatrice qu'exerce le voisinage du sol sur la valeur du champ électrique. Cette influence a pour effet de diminuer la valeur du champ, et son développement semble en rapport avec l'élévation de la température; d'autre part, il résulte de tout ce qui précède, et notamment des résultats obtenus sur le pylône de Trappes, que cette influence s'atténue très rapidement avec l'altitude. On peut même croire, d'après ces dernières observations, qu'elle a cessé de se faire sentir bien avant la limite supérieure de 300^m indiquée par les observations de la Tour Eiffel, et qu'elle ne doit plus s'exercer de façon appréciable au delà des 100 premiers mètres.

Aucune des nombreuses hypothèses émises jusqu'à présent sur les causes de l'état électrique de l'atmosphère ne paraît s'accorder avec le fait d'une localisation *aussi restreinte* de l'action perturbatrice.

La dispersion par l'atmosphère d'une partie de la charge négative du sol, considérée sous sa forme la plus générale et telle qu'elle a été étudiée, d'abord par le D^r Linss (1), puis, plus récemment et avec des appareils perfectionnés, par MM. Elster et Geitel (2), varie, d'après ces physiciens, dans le même sens que la température. Les masses négatives ainsi émanées du sol ont pour effet d'affaiblir le champ au-dessous d'elles et cette action pourrait fournir une explication des phénomènes perturbateurs observés près de la surface, s'il était possible d'imaginer qu'elle puisse être localisée dans les limites que nous avons indiquées.

Or, quel que soit le mécanisme supposé de cette déperdition, qu'elle ait lieu par la vapeur d'eau, ainsi que le croyait Peltier, ou qu'elle soit le résultat d'une action photo-électrique de la radiation solaire, conformément aux idées émises par von Bezold (3) et Arrhenius (4), et plus tard, sous deux formes différentes, par MM. Elster et Geitel (et toutes ces hypothèses sont également sujettes à la critique dans leurs bases expérimentales), il est difficile de concevoir la stagnation, pour ainsi dire, dans les 100 premiers mètres au-dessus du sol, des masses négatives émanées de sa surface (5).

Toute discussion sur ce point est au moins prématurée, tant que des expériences décisives n'auront pas fait connaître, par l'étude de la variation du champ avec l'altitude dans les couches inférieures, la nature des masses électriques qui prédominent dans l'air au voisinage du sol.

II. — Décomposition de l'oscillation diurne en ondes harmoniques.

Comme tous les phénomènes périodiques analogues, la variation du potentiel en un point de l'atmosphère peut être représentée par la superposition d'ondes sinusoïdales ayant respectivement pour périodes un jour, un demi-jour, un tiers de jour, etc.

La décomposition d'une oscillation complexe en oscillations harmoniques simples, par la formule de Fourier, n'est évidemment qu'un procédé de calcul

(1) *Ueber einige die Wolken-und-Luftelektricität betreffende Probleme* (*Meteor. Zeitschrift*, 1887, p. 345).

(2) *Ueber die Existenz elektrischer Ionen in der Atmosphäre* (*Terrestrial Magnetism and atmosph. Electricity*, t. IV, 1899, p. 213).

Ueber die Elektrizitätszerstreuung in der Luft (*Ann. der Physik*, t. II, 1900, p. 425).

(3) *Ueber eine nahezu zwanzig-tägige Periode der Gewittererscheinungen* (*Sitzungsber. Akad. Berlin*, t. XXXVI, 1888, p. 905).

(4) *Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlung auf die elektrischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre* (*Meteor. Zeitschrift*, t. V, 1888, p. 297 et 348).

(5) *Beobachtungen des atmosphärischen Potentialgefälles und der ultra violetten Sonnenstrahlung* (*Sitzungsber. Akad. Wien*, t. CI, 1892, p. 703) et *Ueber die Existenz, etc.* (*loc. cit.*).

et ne suppose en rien l'existence réelle des ondes composantes. Cependant, parmi celles-ci, les deux premières, l'onde diurne et l'onde semi-diurne, paraissent susceptibles, en raison de leur période, de se prêter à une interprétation physique à laquelle échappent, au contraire, les ondes suivantes. Aussi, ce mode d'analyse, malgré son apparence artificielle, a-t-il pu déjà conduire, en Météorologie, à d'importants résultats. En l'appliquant à l'étude de la variation diurne du baromètre, à l'aide de nombreuses séries relatives à différents points du globe, M. Angot ⁽¹⁾ a éclairé d'un jour nouveau cette mystérieuse question de la double oscillation de la pression atmosphérique, et, tout récemment, ce même physicien s'est servi de la méthode avec un égal succès pour mettre en évidence, d'une manière incontestable, les liens qui existent entre le magnétisme terrestre et l'état de la surface du Soleil ⁽²⁾.

La variation diurne de l'électricité atmosphérique a été trop peu étudiée, les données dont nous disposons sont trop peu nombreuses et trop incertaines, pour que l'on puisse espérer beaucoup d'une semblable analyse. Un travail d'ensemble sur ce sujet ne sera possible que lorsque les observations, multipliées et devenues uniformes, fourniront, dans des conditions climatologiques suffisamment variées, des séries comparables. Nous n'avons cherché ici qu'à déterminer, d'après nos seules observations, les modifications apportées par l'altitude et par les saisons sur les amplitudes et les phases des ondes composantes de l'oscillation diurne, pour en dégager la forme simple vers laquelle paraît tendre cette oscillation à mesure que les causes perturbatrices s'atténuent.

Représentons par A l'excès, positif ou négatif, du potentiel observé au temps t sur la moyenne diurne (ce sont les valeurs données de demi-heure en demi-heure dans nos Tableaux), par α l'expression angulaire de ce temps compté de minuit à minuit ⁽³⁾ à raison de 360° pour 24 heures, et prenons la formule de Fourier sous la forme

$$(1) \quad A = a_1 \sin(\alpha + \varphi_1) + a_2 \sin(2\alpha + \varphi_2) + a_3 \sin(3\alpha + \varphi_3) + \dots;$$

nous avons calculé les coefficients $a_1, a_2, \dots, \varphi_1, \varphi_2, \dots$ pour chacune de nos séries de moyennes à l'aide des 48 observations semi-horaires de ces séries.

⁽¹⁾ *Sur la variation diurne du baromètre (Annales du Bureau central météorologique, t. I, 1887, p. B.237).*

⁽²⁾ *Sur la variation diurne de la déclinaison magnétique au Parc Saint-Maur (Annales du Bureau central météorologique, t. I, 1899, p. B.93).*

⁽³⁾ Afin de permettre la comparaison de nos formules avec celles qui sont données ordinairement pour les autres éléments météorologiques, nous compterons ici les temps à partir de minuit, suivant la convention habituelle en Météorologie, et non à partir de midi, comme nous l'avons fait dans nos Tableaux pour des raisons que nous avons indiquées page 47.

Pour cela, on substitue d'abord à la forme (1) la forme équivalente

$$(2) \quad A = b_1 \sin x + c_1 \cos x + b_2 \sin 2x + c_2 \cos 2x + \dots$$

dont les coefficients sont donnés par

$$\begin{aligned} 24 b_1 &= \Sigma A \sin x, & 24 c_1 &= \Sigma A \cos x, \\ 24 b_2 &= \Sigma A \sin 2x, & 24 c_2 &= \Sigma A \cos 2x, \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{aligned}$$

les sommes Σ étant faites pour les 48 observations de nos Tableaux et les angles horaires correspondants.

Les coefficients $b_1, b_2, \dots, c_1, c_2, \dots$ étant ainsi déterminés, on aura $a_1, a_2, \dots, \varphi_1, \varphi_2, \dots$ par les relations

$$\begin{aligned} a_1 &= \sqrt{b_1^2 + c_1^2}, & \text{tang } \varphi_1 &= \frac{c_1}{b_1}, \\ a_2 &= \sqrt{b_2^2 + c_2^2}, & \text{tang } \varphi_2 &= \frac{c_2}{b_2}, \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{aligned}$$

La formule (2) est d'un usage plus commode pour les calculs numériques, et les variations de ses coefficients peuvent présenter un certain intérêt; nous la donnerons pour chaque série d'observations, conjointement avec la formule (1). Dans cette dernière, suivant l'usage habituel, nous ferons en sorte que tous les coefficients soient positifs, ne modifiant convenablement la phase de la quantité $\pm \pi$.

Bureau central météorologique.

I. ÉTÉ 1893. — 65 jours. *Moyenne diurne* = 170 volts (à 1^m, 60).

$$(1) \quad A = 38,0 \sin(x + 96^\circ) + 34,6 \sin(2x + 199^\circ) \\ + 12,2 \sin(3x + 189^\circ) + 14,3 \sin(4x + 6^\circ) + 2,3 \sin(5x + 119^\circ),$$

ou

$$(2) \quad A = -3,8 \sin x + 37,8 \cos x - 32,8 \sin 2x - 11,1 \cos 2x \\ - 12,0 \sin 3x - 1,9 \cos 3x + 14,2 \sin 4x + 1,4 \cos 4x \\ - 1,1 \sin 5x + 2,0 \cos 5x.$$

II. RÉGIME D'ÉTÉ (1894 à 1898). — 242 jours. *Moyenne diurne* = 134 volts (à 1^m, 40).

$$(1) \quad A = 17,4 \sin(x + 95^\circ) + 26,8 \sin(2x + 196^\circ) \\ + 5,4 \sin(3x + 156^\circ) + 9,1 \sin(4x + 350^\circ) + 1,6 \sin(5x + 35^\circ),$$

ou

$$(2) \quad A = -1,6 \sin x + 17,3 \cos x - 25,6 \sin 2x - 7,8 \cos 2x \\ - 4,9 \sin 3x + 2,2 \cos 3x + 9,0 \sin 4x - 1,6 \cos 4x \\ + 1,3 \sin 5x + 0,9 \cos 5x.$$

III. RÉGIME D'AUTOMNE (*septembre-octobre*). — 248 *jours*. *Moyenne diurne* = 168 *volts*
(à 1^m,40).

$$(1) \quad A = 24,2 \sin(\alpha + 184^\circ) + 35,5 \sin(2\alpha + 218^\circ) \\ + 10,0 \sin(3\alpha + 6^\circ) + 9,2 \sin(4\alpha + 20^\circ) + 4,1 \sin(5\alpha + 170^\circ),$$

ou

$$(2) \quad A = -24,2 \sin \alpha - 1,7 \cos \alpha - 28,1 \sin 2\alpha - 21,7 \cos 2\alpha \\ + 10,0 \sin 3\alpha + 1,0 \cos 3\alpha + 8,6 \sin 4\alpha + 3,2 \cos 4\alpha \\ - 4,0 \sin 5\alpha + 0,7 \cos 5\alpha.$$

IV. RÉGIME D'HIVER. — 139 *jours*. *Moyenne diurne* = 205 *volts* (à 1^m,40).

$$(1) \quad A = 45,0 \sin(\alpha + 222^\circ) + 21,3 \sin(2\alpha + 204^\circ) \\ + 7,1 \sin(3\alpha + 42^\circ) + 6,4 \sin(4\alpha + 355^\circ) + 3,8 \sin(5\alpha + 168^\circ),$$

ou

$$(2) \quad A = -33,3 \sin \alpha - 30,2 \cos \alpha - 19,4 \sin 2\alpha - 8,8 \cos 2\alpha \\ + 5,3 \sin 3\alpha + 4,7 \cos 3\alpha + 6,4 \sin 4\alpha - 0,6 \cos 4\alpha \\ - 3,7 \sin 5\alpha + 0,8 \cos 5\alpha.$$

Les coefficients $a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, \dots, c_1, c_2, \dots$ sont exprimés en volts et dixièmes.

Tour Eiffel.

V. ÉTÉ 1893. — 58 *jours*. *Moyenne diurne* = 4010 *volts* (à 1^m,70).

$$(1) \quad A = 75,4 \sin(\alpha + 196^\circ) + 176 \sin(2\alpha + 206^\circ) \\ + 13 \sin(3\alpha + 113^\circ) + 113 \sin(4\alpha + 23^\circ) + 66 \sin(5\alpha + 147^\circ),$$

ou

$$(2) \quad A = -72,3 \sin \alpha - 21,4 \cos \alpha - 158 \sin 2\alpha - 77 \cos 2\alpha \\ - 5 \sin 3\alpha + 12 \cos 3\alpha + 10,4 \sin 4\alpha + 43 \cos 4\alpha \\ - 55 \cos 5\alpha + 36 \cos 5\alpha.$$

VI. RÉGIME D'ÉTÉ (1896 à 1898). — 131 *jours*. *Moyenne diurne* = 2150 *volts* (à 0^m,55).

$$(1) \quad A = 285 \sin(\alpha + 216^\circ) + 182 \sin(2\alpha + 170^\circ) \\ + 49 \sin(3\alpha + 78^\circ) + 46 \sin(4\alpha + 328^\circ) + 22 \sin(5\alpha + 126^\circ),$$

ou

$$(2) \quad A = -232 \sin \alpha - 166 \cos \alpha - 179 \sin 2\alpha + 31 \cos 2\alpha \\ + 10 \sin 3\alpha + 48 \cos 3\alpha + 39 \sin 4\alpha - 24 \cos 4\alpha \\ - 13 \sin 5\alpha + 18 \cos 5\alpha.$$

VII. RÉGIME D'AUTOMNE (*septembre-octobre*). — 120 jours. Moyenne diurne = 2150 volts (à 0^m,55).

$$(1) \quad A = 338 \sin(\alpha + 214^{\circ}) + 77 \sin(2\alpha + 190^{\circ}) \\ + 14 \sin(3\alpha + 129^{\circ}) + 33 \sin(4\alpha + 340^{\circ}) + 12 \sin(5\alpha + 125^{\circ}),$$

ou

$$(2) \quad A = -280 \sin \alpha - 190 \cos \alpha - 76 \sin 2\alpha - 14 \cos 2\alpha \\ - 9 \sin 3\alpha + 11 \cos 3\alpha + 31 \sin 4\alpha - 11 \cos 4\alpha \\ - 7 \sin 5\alpha + 10 \cos 5\alpha.$$

Les coefficients $a_1, a_2, \dots, b_1, \dots, c_1, \dots$ sont exprimés en volts.

Pour faciliter, dans la discussion qui va suivre, le rapprochement entre les valeurs des coefficients de nos différentes séries, nous grouperons en deux Tableaux, d'une part les amplitudes, de l'autre les phases.

Amplitudes. — Nous avons exprimé, dans chaque série, les coefficients a_1, a_2, \dots en fonction du plus grand d'entre eux; on met ainsi mieux en évidence celle des ondes composantes dont l'influence prédomine dans la variation. Nous rappelons, en outre, les valeurs des potentiels moyens et les distances du point exploré.

Bureau central météorologique.

		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Été 1893 (170° à 1 ^m ,60).....	38,0	[1	0,86	0,32	0,38	0,06]
Régime d'été (134° à 1 ^m ,40).....	26,8	[0,65	1	0,20	0,34	0,06]
Régime d'automne (168° à 1 ^m ,40).....	35,5	[0,68	1	0,28	0,26	0,11]
Régime d'hiver (205° à 1 ^m ,40).....	45,0	[1	0,47	0,16	0,14	0,08]

Tour Eiffel.

		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Été 1893 (4010° à 1 ^m ,70).....	754	[1	0,23	0,02	0,15	0,09]
Régime d'été (2150° à 0 ^m ,55).....	285	[1	0,64	0,17	0,16	0,08]
Régime d'automne (2150° à 0 ^m ,55).....	338	[1	0,23	0,04	0,09	0,04]

Phases. — Les valeurs données dans les formules précédentes pour $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ sont exprimées en temps moyen. Nous les donnons ici en temps vrai, en tenant compte de l'équation moyenne du temps pour l'ensemble des mois auxquels se rapportent nos séries.

Bureau central météorologique.

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5
Été 1893.....	96 ⁰	200 ⁰	190 ⁰	8 ⁰	121 ⁰
Régime d'été.....	95	197	157	352	37
Régime d'automne.....	182	213	358	11	159
Régime d'hiver.....	223	206	45	0	174

Tour Eiffel.

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5
Été 1893.....	196 ⁰	207 ⁰	114 ⁰	25 ⁰	149 ⁰
Régime d'été.....	216	171	79	330	128
Régime d'automne.....	212	185	122	331	113

Remarquons d'abord qu'il est nécessaire d'aller jusqu'au cinquième terme de la formule si l'on veut avoir une représentation suffisamment exacte des résultats de l'observation. En traçant, en effet, les courbes fournies successivement par l'ensemble des termes en α et 2α , puis en α , 2α et 3α , etc., on constate que l'introduction du terme en 5α est indispensable pour accuser le maximum secondaire de l'après-midi dont nous avons signalé l'existence en été comme en hiver au voisinage du sol et qui se retrouve avec une égale netteté à la Tour Eiffel. On voit de même que les heures des maxima principaux et du minimum du matin ne concordent avec les heures observées que grâce aux termes supérieurs au troisième.

L'oscillation diurne paraît donc assez complexe; mais le Tableau des amplitudes montre que les valeurs des coefficients a_3 , a_4 et a_5 , relativement élevées au voisinage du sol et pendant la saison chaude, diminuent rapidement, d'une part quand l'altitude augmente, de l'autre quand la température moyenne s'abaisse. Nous devons insister sur ce point.

L'examen de chacun des termes en 3α , 4α et 5α , pris en particulier, ne donne lieu à aucune remarque intéressante; les phases varient de façon assez irrégulière, et pour le quatrième terme seulement les arcs tombent tous dans le même quadrant. Nous ne considérerons que l'onde résultant de leur ensemble. Elle a été calculée pour nos différentes séries, en même temps que l'onde principale résultant de l'ensemble des termes diurne et semi-diurne.

Nous divisons ainsi l'onde totale en deux autres, celle des deux premiers termes, dite *onde principale*, et celle des termes supérieurs. Chacune de ces ondes peut être figurée par une courbe limitant des aires égales de part et d'autre de l'axe des x , et leur importance relative dans la variation diurne, exactement exprimée par le rapport des aires, l'est très sensiblement par le rapport des sommes des ordonnées tracées de demi-heure en demi-heure et correspondant à nos observations.

On trouve pour les valeurs de ce rapport les nombres suivants :

<i>Bureau central météorologique.</i>				<i>Tour Eiffel.</i>		
	Régime d'été.	Régime d'automne.	Régime d'hiver.		Régime d'été.	Régime d'automne.
Été 1893.	0,37	0,35	0,20	Été 1893.	0,17	0,20
		0,34				0,10

Ainsi, l'importance de l'onde des termes supérieurs est réduite de près de moitié, de l'été à l'hiver, au voisinage du sol, et dans la même proportion du voisinage du sol à une altitude qui ne dépasse vraisemblablement pas 100^m pendant la première saison.

A cette altitude, elle subit une nouvelle réduction, de même valeur, des mois d'été aux deux premiers mois d'automne, et n'est plus alors que le dixième de l'onde principale; par simple analogie avec le fait constaté auprès du sol, on peut croire qu'en hiver et à la même altitude de 100^m cette onde serait à peu près insensible et qu'elle disparaîtrait entièrement à une altitude suffisante. La complication qui en résulte dans l'expression de la variation diurne offre donc le caractère d'un effet perturbateur, exagéré pendant l'été, mais dû au sol et s'atténuant progressivement à mesure qu'on s'en éloigne.

Examinons maintenant l'onde principale et ses deux composantes diurne et semi-diurne.

La phase φ_2 de l'onde semi-diurne est sensiblement la même dans nos sept séries; toutefois, les valeurs correspondant au régime d'automne, et surtout au régime d'été, à la Tour Eiffel sont notablement plus faibles que la moyenne des φ_2 au voisinage du sol (204°), avec laquelle s'accorde au contraire très bien la phase (207°) de la série d'été de 1893. La distance du point exploré à la surface de la Tour, plus courte dans les groupes d'été et d'automne, semble donc influencer sur la phase de l'onde semi-diurne. Mais la variation est, à tout prendre, peu considérable; elle laisse d'ailleurs subsister le caractère de constance de cette phase, quelle que soit la saison.

Il en est autrement pour l'onde diurne. De la saison chaude à la saison froide, φ_1 augmente de plus de 120° au voisinage du sol; à la Tour Eiffel, la phase reste constante et sa valeur est celle que l'on trouve à la station inférieure pendant l'hiver. L'influence de la température est donc très grande, mais au voisinage du sol seulement; elle est nulle à une hauteur inférieure à 300^m.

La décomposition de l'oscillation totale en ondes harmoniques simples a, en quelque sorte, localisé dans le terme diurne l'action apparente de la température sur la variation du potentiel, et nous voyons clairement ainsi que cette action n'existe pas, du moins en tant qu'effet direct, puisqu'elle cesse d'exister à une altitude relativement faible au-dessus du sol.

Considérons les amplitudes. Leur rapport $\frac{a_2}{a_1}$ donne ici exactement le rapport des aires et peut servir à caractériser l'importance relative des deux ondes diurne et semi-diurne dans l'onde résultante.

Il ressort du Tableau donné plus haut que l'onde diurne est constamment prépondérante dans les observations de la Tour Eiffel; il en est de même pen-

dant l'hiver au Bureau central. En été et en automne, dans cette dernière station, c'est au contraire l'amplitude a_2 qui est la plus grande; mais le caractère anormal de cette prédominance de l'onde semi-diurne résulte de ce fait qu'elle peut disparaître, même en été, si le point exploré est dans une position suffisamment dégagée pour que l'altitude de la surface de niveau moyen correspondante soit à moins de 3^m au-dessus du sol.

Cette condition était réalisée, pendant l'été de 1893, dans les observations du Bureau central. Nous avons dit (p. 27) que les arbres situés au voisinage du collecteur, et qui depuis ont grandi, étaient alors dominés par le tuyau d'écoulement; celui-ci était, en outre, plus long de 20^m. Le potentiel diurne moyen, 170 volts, est, par suite, sensiblement plus fort que dans la série de 5 ans qui nous a servi à caractériser le régime d'été (134 volts). Le Tableau montre qu'à ces conditions différentes correspond un renversement des grandeurs relatives des amplitudes a_1 et a_2 , et que la première, inférieure à la seconde dans l'ensemble des observations postérieures à 1893, lui est supérieure dans la première série de nos moyennes d'été.

L'examen des valeurs correspondant aux séries de la Tour confirme cette remarque que l'amplitude relative de l'onde semi-diurne va diminuant quand l'altitude augmente. Le rapport $\frac{a_2}{a_1}$ passe de 0,64 à 0,23 quand la distance du point exploré à la paroi varie de 0^m,55 à 1^m,70 (été de 1893). Le potentiel moyen (2150 volts et 4010 volts) a doublé sensiblement de la première position à la seconde, et l'amplitude de l'onde semi-diurne, considérablement réduite, est d'un ordre de grandeur qui n'est pas très éloigné de celui de quelques-uns des coefficients d'ordre supérieur ($\frac{a_3}{a_1} = 0,15$).

De l'été à l'automne, le rapport des deux amplitudes diurne et semi-diurne n'est pas sensiblement modifié dans les observations du Bureau central. Les causes perturbatrices auxquelles est due l'anomalie signalée restent sans doute à peu près les mêmes, surtout si l'on ne considère en automne, comme nous l'avons fait, que les 2 mois qui suivent immédiatement les mois d'été. Il en est autrement à la Tour Eiffel, où le rapport $\frac{a_2}{a_1}$ éprouve, du fait du changement de saison, une diminution (de 0,64 à 0,23) qui est exactement égale à celle que nous trouvons en été quand la distance du point exploré à la paroi varie de 0^m,55 à 1^m,70. Si la modification se poursuit dans le même sens de l'automne à l'hiver, et tout nous autorise à admettre qu'il en est ainsi (1), on est conduit à croire qu'il ne restera plus rien, dans cette dernière saison, de l'onde semi-diurne, et que *la loi de variation du potentiel en hiver, à la Tour Eiffel, sera très*

(1) Notamment la diminution rapide de $\frac{a_2}{a_1}$, de la première saison à la seconde, au voisinage du sol.

sensiblement représentée par la seule onde sinusoïdale diurne à période de 24 heures.

On peut ajouter, d'après ce que nous avons dit plus haut de l'influence de l'altitude, que *pour un point isolé dans l'air libre, telle serait la loi constante, en toutes saisons, à une hauteur au-dessus du sol qui n'excède pas quelques centaines de mètres et qui même est probablement beaucoup moindre.*

La représentation graphique des ondes fournit, par le simple rapprochement des courbes, un résumé très net de l'ensemble des considérations qui précèdent.

Nous donnons (*Pl. XIII*) les tracés des ondes diurnes, des ondes semi-diurnes et des ondes des termes supérieurs déduites par la formule de Fourier des séries du Bureau central et de la Tour. Pour que les résultats soient graphiquement comparables, nous avons ramené les nombres de la Tour Eiffel aux valeurs correspondant au champ tel qu'il est observé au Bureau central.

On sait qu'à cette station, et dans les conditions que nous avons décrites, les mesures donnent sensiblement la chute de potentiel entre le sol plan et un point situé à 1^m,80 environ dans la verticale. En supposant le champ constant dans les 300 premiers mètres au-dessus du sol, nous avons réduit, dans le rapport des potentiels moyens aux deux stations, les nombres de la Tour ('). Les courbes de la planche XIII représentent, à la même échelle de 2 volts par millimètre environ, les résultats ainsi obtenus.

L'atténuation progressive de l'onde des termes supérieurs et de l'onde semi-diurne et la constance remarquable de la phase de cette dernière, les modifications de l'onde diurne avec les saisons et sa tendance vers un type fixe à une altitude suffisante à laquelle elle subsiste seule, sont des conséquences immédiates du simple examen de ces tracés graphiques.

(') Ces nombres ont été divisés par 15 pour les deux séries principales, régimes d'été et d'automne, par 30 pour l'été de 1893. La réduction, ainsi faite, ne fournit évidemment qu'une approximation, d'abord parce que l'hypothèse de la constance du champ n'est elle-même qu'approchée, ensuite parce que le coefficient 15, qui convient à l'été, est un peu trop élevé pour l'automne, puisque le champ, pendant cette saison, augmente au voisinage du sol, tandis que le potentiel diurne moyen reste constant à la Tour Eiffel.

TABLE GÉNÉRALE PAR NOMS D'AUTEURS

DES MÉMOIRES CONTENUS DANS LES TOMES I ET IV

DES ANNALES DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE

POUR LES VINGT-TROIS PREMIÈRES ANNÉES 1878-1900 (1).

- Angot** Alfred. — (1). Tables pour la réduction du baromètre au niveau de la mer, **1878**, I, 1879 (C. 13-30). [F 0120] [F 0720].
- (2). Tables pour calculer les hauteurs au moyen des observations barométriques, **1879**, I, 1880 (B. 81-103). [F 0120] [F 0730].
- (3). Marche diurne de la température, de la pression barométrique et de l'humidité sous le climat de Paris, **1880**, I, 1881 (B. 91-113, 4 pl.). [F 0750] [F 0830] [F 1040].
- (4). Études sur le psychromètre, suivies de nouvelles Tables psychrométriques, **1880**, I, 1881 (B. 115-136, 1 pl.). [F 0120] [F 0280].
- (5). Étude sur le climat de l'Algérie (température, pression barométrique et pluie), **1881**, I, 1883 (B. 7-36, 8 pl.). [F 0710] [F 0810] [F 1180] [F 1700].
- (6). Marche diurne des divers éléments météorologiques à Sainte-Honorine-du-Fay (Calvados), **1881**, I, 1883 (B. 77-91). [F 0750] [F 0830] [F 1040] [F 1080].
- (7). Étude sur la marche des phénomènes de la végétation en France pendant les années 1880 et 1881, **1882**, I, 1884 (B. 9-72, 16 pl.). [F 1710] [F 1720].
- (8). Étude sur les vendanges en France, **1883**, I, 1885 (B. 29-120, 1 pl.). [F 1710] [F 1720].
- (9). Recherches théoriques sur la distribution de la chaleur à la surface du globe, **1883**, I, 1885 (B. 121-169, 8 pl.). [F 0930].
- (10). Étude sur la marche des phénomènes de la végétation et la migration des oiseaux en France pendant les années 1882 et 1883, **1884**, I, 1886 (B. 227-287, 16 pl.). [F 1710] [F 1720].

(1) Le Tome I a paru régulièrement chaque année sous le format in-4° (32^{cm}) ; la collection, jusqu'à la fin de 1900, en comprend 23 Volumes. Le Tome IV n'a existé que de 1878 à 1885 inclus ; la série se compose de 8 Volumes, dont 6 sous le format in-4° (32^{cm}) et 2 (années 1878 et 1880) sous le format in-plano (42^{cm} × 54^{cm}).

La Table générale par noms d'auteurs contient, pour chaque auteur, les titres complets de tous les mémoires, rangés par ordre chronologique, avec un numéro d'ordre spécial pour chacun. La première indication qui suit le titre est celle de l'année du Volume (en caractères gras) et de la Tomaison (T. I ou IV) ; le nombre suivant (en caractères ordinaires) donne l'année de publication du Volume. Viennent ensuite l'indication de la première et de la dernière pages du Mémoire, et celle du nombre de Planches, s'il y a lieu. La lettre et le nombre (ou les nombres) qui terminent sont les symboles adoptés pour le *Catalogue international de Littérature scientifique* et qui permettent la classification des Mémoires par ordre de matières, suivant les principes suivis dans la rédaction de ce Catalogue.

A. ANGOT.

- Angot Alfred.** — (11). Étude sur le climat de Fécamp, d'après les observations de MM. E. et C. Marchand, **1885**, I, 1887 (B. 237-258). [F 0710] [F 0810] [F 1180] [F 1260] [F 1270] [F 1310] [F 1640] [F 1700].
- (12). Étude sur la marche des phénomènes de la végétation et la migration des oiseaux en France pendant les années 1884 et 1885, **1886**, I, 1888 (B. 29-76, 8 pl.). [F 1710] [F 1720].
- (13). Étude sur le climat de Saint-Martin-de-Hinx (Landes), d'après les observations de M. Carlier, **1886**, I, 1888 (B. 77-140). [F 0710] [F 0750] [F 0810] [F 0830] [F 0860] [F 0950] [F 1010] [F 1020] [F 1040] [F 1070] [F 1080] [F 1180] [F 1200] [F 1210] [F 1260] [F 1270] [F 1310] [F 1330] [F 1640] [F 1700].
- (14). Sur le calcul de la variation annuelle des éléments météorologiques, **1887**, I, 1889 (B. 227-236). [F 0140].
- (15). Étude sur la marche diurne du baromètre, **1887**, I, 1889 (B. 237-344). [F 0750].
- (16). Étude sur la marche des phénomènes de la végétation et la migration des oiseaux en France pendant les années 1886 et 1887, **1888**, I, 1890 (B. 83-132, 8 pl.). [F 1710] [F 1720].
- (17). Influence de la nébulosité sur la variation diurne de la température à Paris. **1888**, I, 1890 (B. 133-154). [F 0830] [F 1080].
- (18). Observations météorologiques faites au Bureau central météorologique et à la tour Eiffel pendant l'année 1889, **1889**, I, 1891 (B. 125-162). [F 0720] [F 0750] [F 0820] [F 0830] [F 1040] [F 1050] [F 1200] [F 1310] [F 1330] [F 1340].
- (19). Valeurs normales de la température, de la pression et de la pluie à Paris, **1890**, I, 1892 (B. 129-160). [F 0710] [F 0810] [F 1180] [F 1700].
- (20). Observations météorologiques faites au Bureau central météorologique et à la tour Eiffel pendant l'année 1890, **1890**, I, 1892 (B. 179-208). [F 0720] [F 0750] [F 0820] [F 0830] [F 1040] [F 1050] [F 1200] [F 1310] [F 1330] [F 1340].
- (21). Observations météorologiques faites au Bureau central météorologique et à la tour Eiffel pendant l'année 1891, **1891**, I, 1893 (B. 97-136). [F 0720] [F 0750] [F 0820] [F 0830] [F 1040] [F 1050] [F 1200] [F 1310] [F 1330] [F 1340].
- (22). La nébulosité à Paris, **1891**, I, 1893 (B. 137-144). [F 1080].
- (23). Étude sur la marche des phénomènes de la végétation et la migration des oiseaux en France pendant les années 1888 et 1889, **1891**, I, 1893 (B. 145-188, 8 pl.). [F 1710] [F 1720].
- (24). Étude sur la marche des phénomènes de la végétation et la migration des oiseaux en France pendant l'année 1890, **1892**, I, 1894 (B. 111-138, 4 pl.). [F 1710] [F 1720].
- (25). Remarques sur les observations faites au sommet du Mont Blanc par M. Vallot en 1887, **1892**, I, 1894 (B. 145-158). [F 0720] [F 0750] [F 0820] [F 0830].
- (26). Résumé des études sur la marche des phénomènes de la végétation et la migration des oiseaux en France pendant les dix années 1891-1900, **1892**, I, 1894 (B. 159-210, 4 pl.). [F 1710] [F 1720].
- (27). Observations météorologiques faites au Bureau central météorologique et à la tour Eiffel pendant l'année 1892, **1892**, I, 1894 (B. 211-248). [F 0720] [F 0750] [F 0820] [F 0830] [F 1040] [F 1050] [F 1200] [F 1310] [F 1330] [F 1340].
- (28). Observations météorologiques faites au Bureau central météorologique et à la tour Eiffel pendant l'année 1893, **1893**, I, 1895 (B. 103-138). [F 0720] [F 0750] [F 0820] [F 0830] [F 1040] [F 1050] [F 1200] [F 1310] [F 1330] [F 1340].
- (29). Régime des pluies de la péninsule ibérique, **1893**, I, 1895 (B. 157-194, 4 pl.). [F 1180].
- (30). Observations météorologiques faites au Bureau central météorologique et à la tour Eiffel pendant l'année 1894, **1894**, I, 1896 (B. 103-138). [F 0720] [F 0750] [F 0820] [F 0830] [F 1040] [F 1050] [F 1200] [F 1310] [F 1330] [F 1340].
- (31). Résumé des observations météorologiques faites au Bureau central météorologique et à la tour Eiffel pendant les cinq années 1890-1894, **1894**, I, 1896 (B. 145-188). [F 0720] [F 0750] [F 0820] [F 0830] [F 1040] [F 1050] [F 1200].
- (32). Premier catalogue des observations météorologiques faites en France depuis l'origine jusqu'en 1850, **1895**, I, 1897 (B. 89-146). [F 0030].
- (33). Régime des pluies de l'Europe occidentale, **1895**, I, 1897 (B. 155-192, 16 pl.). [F 1180].
- (34). La nouvelle carte du Bulletin international du Bureau central météorologique, **1896**, I, 1898 (B. 151-158). [J 83].
- (35). Sur la formule barométrique, **1896**, I, 1898 (B. 159-196). [F 0120] [F 0720] [F 0730].

- Angot Alfred.** — (36). Études sur le climat de la France. Température. Première partie : Stations de comparaison, **1897**, I, 1899 (B.93-170). [F 0810] [F 1700].
- (37). Résumé des observations anémométriques faites au Bureau central et à la tour Eiffel pendant les six années 1890-1895, **1897**, I, 1899 (B.171-200). [F 1310] [F 1330] [F 1340].
- (38). Études sur les migrations des oiseaux en France. Époques du premier chant du Coucou, **1898**, I, 1900 (B.121-170). [F 1720].
- (39). Sur la variation diurne de la déclinaison magnétique au Parc Saint-Maur, **1899**, I, 1901 (B.93-130). [F 3040] [F 3060].
- (40). Études sur le climat de la France. Température. Première Partie : Stations de comparaison (fin). **1900**, I, 1902 (B.33-~~100~~₁₁₈). [F 0810] [F 1700].
- Barois.** — (1). Orages de 1877 dans le département d'Eure-et-Loir. **1878**, I, 1879 (B.1-10, 1 pl.). [F 1640]
- Becquerel Edmond.** — (1). Observations de température faites au Muséum d'histoire naturelle pendant les années météorologiques 1877 et 1878, avec des thermomètres électriques placés à des profondeurs de 1^m à 36^m dans le sol, ainsi que dans l'air et sous des sols dénudés et gazonnés, **1878**, I, 1879 (C.1-12). [F 0810] [F 0860].
- Becquerel Edmond et Henri.** — (2). Températures du sol et de l'air observées au Muséum d'histoire naturelle pendant l'année 1879, **1879**, I, 1880 (B.1-11). [F 0810] [F 0860].
- (3). Températures du sol et de l'air observées au Muséum d'histoire naturelle pendant l'année 1880, **1880**, I, 1881 (B.1-10). [F 0810] [F 0860].
- (4). Températures du sol et de l'air observées au Muséum d'histoire naturelle pendant l'année 1881, **1881**, I, 1883 (B.1-6). [F 0810] [F 0860].
- (5). Températures du sol et de l'air observées au Muséum d'histoire naturelle pendant l'année 1882, **1882**, I, 1884 (B.1-8). [F 0810] [F 0860].
- Boname Ph.** — (1). Étude sur le climat de la Guadeloupe, **1885**, IV, 1887 (1-24, 1 pl.). [F 0410] [F 0710] [F 0810] [F 1020] [F 1050] [F 1180] [F 1570] [F 1700].
- Borius A.** — (1). Nouvelles recherches sur le climat du Sénégal, d'après les observations météorologiques faites pendant cinq ans, 1874-1878, **1879**, IV, 1880 (61-75). [F 1700].
- Brault Léon.** — (1). Le Verrier météorologiste, **1879**, I, 1880 (B.105-113) [F 0010].
- (2). Observations de direction et de force du vent dans l'Atlantique nord, **1880**, IV, 1881 (1-20, 15 pl.). [F 1310] [F 1330] [F 1410] [F 1420].
- Brillouin Marcel.** — (1). Vents contigus et nuages, **1896**, I, 1898 (B.45-150). [F 1080] [F 1170] [F 1300].
- Buchalu.** — (1). Orages de 1877 dans le département de l'Ain, **1878**, I, 1879 (B.10, 1 pl.). [F 1640].
- Carlier.** — (1). Rapport sur l'ensemble des orages de l'année 1876 dans le département de la Haute-Marne, **1878**, I, 1879 (A.61-62, 1 pl.). [F 1640].
- (2). Orages de 1877 dans le département de la Haute-Marne, **1878**, I, 1879 (B.23-24, 1 pl.). [F 1640].
- Chauveau A.-B.** — (1) Recherches sur l'électricité atmosphérique. PREMIER MÉMOIRE : Introduction historique et bibliographique à l'étude de l'électricité atmosphérique, **1899**, I, 1901 (C.1-70). [F 0030] [F 1600].
- (2). Recherches sur l'électricité atmosphérique. SECOND MÉMOIRE : Étude de la variation diurne de l'électricité atmosphérique, **1900**, I, 1902 (C.1-123, 11 pl.). [F 0350] [F 1610] [F 1620].
- Cœurdevache Paul.** — (1). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1887, sous la direction de M. le Dr Fines, **1887**, I, 1889 (B.25-34). [F 3020] [F 3040].
- (2). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1888, sous la direction de M. le Dr Fines, **1888**, I, 1890 (B.25-36). [F 3020] [F 3040].
- (3). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1889, sous la direction de M. le Dr Fines, **1889**, I, 1891 (B.25-36). [F 3020] [F 3040].
- (4). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1890, sous la direction de M. le Dr Fines, **1890**, I, 1892 (B.23-34). [F 3020] [F 3040].
- (5). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1891, sous la direction de M. le Dr Fines, **1891**, I, 1893 (B.23-34). [F 3020] [F 3040].

- Cœurdevache Paul.** — (6). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1892, sous la direction de M. le Dr Fines, 1892, I, 1894 (B. 29-30). [F 3020] [F 3040].
- (7). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1893, sous la direction de M. le Dr Fines, 1893, I, 1895 (B. 39-50). [F 3020] [F 3040].
- (8). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1894, sous la direction de M. le Dr Fines, 1894, I, 1896 (B. 27-38). [F 3020] [F 3040].
- (9). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1895, sous la direction de M. le Dr Fines, 1895, I, 1897 (B. 23-34). [F 3020] [F 3040].
- (10). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1896, sous la direction de M. le Dr Fines, 1896, I, 1898 (B. 25-36). [F 3020] [F 3040].
- (11). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1897, sous la direction de M. le Dr Fines, 1897, I, 1899 (B. 23-34). [F 3020] [F 3040].
- (12). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1898, sous la direction de M. le Dr Fines, 1898, I, 1900 (B. 45-56). [F 3020] [F 3040].
- (13). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1899, sous la direction de M. le Dr Fines, 1899, I, 1901 (B. 25-36). [F 3020] [F 3040].
- (14). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1900, sous la direction de M. le Dr Fines, 1900, I, 1902 (B. 21-32). [F 3020] [F 3040].
- David Jules.** — (1). Rapport sur les orages de l'année 1877 dans le département de l'Yonne, 1878, I, 1879 (B. 25-27, 1 pl.). [F 1640].
- Duchaussoy.** — (1). Les zones à grêle du département de la Somme, de 1861 à 1890; 1893, I, 1895 (A. 19-25, 1 pl.). [F 1260].
- (2). Observations météorologiques de Victor et Camille Chandon, de Montdidier, 1899, I, 1901 (B. 65-91). [F 0710] [F 0810] [F 1180] [F 1260] [F 1270] [F 1640] [F 1700] [F 1720].
- Durand-Gréville E.** — (1). Les grains et les orages, 1892, I, 1894 (B. 249-272, 3 pl.). [F 1580] [F 1640].
- (2). Les grains et les tornades, 1893, I, 1895 (B. 139-156). [F 1580].
- (3). Les grains et le burster d'Australie, 1895, I, 1897 (B. 147-153). [F 1580].
- Fines, Dr E.** — (1). Climatologie du Roussillon. Résumé de 38 années d'observations météorologiques faites à Perpignan, 1881, I, 1883 (B. 93-204, 10 pl.). [F 0710] [F 0750] [F 0810] [F 0830] [F 1020] [F 1040] [F 1050] [F 1080] [F 1180] [F 1210] [F 1310] [F 1330] [F 1340] [F 1360] [F 1700].
- (2). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1886, 1886, I, 1888 (B. 21-28). [F 3020] [F 3040].
- (3). Observations magnétiques faites à l'Observatoire de Perpignan pendant l'année 1887, par M. P. Cœurdevache, sous la direction de M. le Dr Fines, 1887, I, 1889 (B. 25-34). [F 3020] [F 3040].
- Pour les années suivantes, voir Cœurdevache.
- Flahault Charles.** — (1). Les phénomènes périodiques de la végétation, d'après les travaux des météorologistes scandinaves, 1879, I, 1880 (B. 39-53, 1 pl.). [F 1720].
- Fron E.** — (1). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1876; 1878, I, 1879 (A. 1-50, 12 pl.). [F 1640].
- (2). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1877; 1878, I, 1879 (B. 1-9, 4 pl.). [F 1640].
- (3). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1878; 1879, I, 1880 (A. 1-21, 16 pl.). [F 1640].
- (4). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1879; 1880, I, 1881 (A. 1-21, 28 pl.). [F 1640].
- (5). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1880, 1881, I, 1883 (A. 1-15, 20 pl.). [F 1640].
- (6). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1881; 1882, I, 1884 (A. 1-14, 22 pl.). [F 1640].

- Fron E.** — (7). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1882; **1883**, I, 1885 (A. 1-12, 18 pl.). [F 1640].
- (8). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1883; **1884**, I, 1886 (A. 1-16, 20 pl.). [F 1640].
- (9). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1884; **1885**, I, 1887 (A. 1-16, 20 pl.). [F 1640].
- (10). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1885; **1886**, I, 1888 (A. 1-16, 20 pl.). [F 1640].
- (11). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1886; **1887**, I, 1889 (A. 1-15, 22 pl.). [F 1640].
- (12). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1887; **1888**, I, 1890 (A. 1-10, 20 pl.). [F 1640].
- (13). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1888; **1888**, I, 1890 (A. 11-20, 24 pl.). [F 1640].
- (14). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1889; **1889**, I, 1891 (A. 1-12, 16 pl.). [F 1640].
- (15). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1890; **1890**, I, 1892 (A. 1-27, 20 pl.). [F 1640].
- (16). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1891; **1891**, I, 1893 (A. 1-18, 16 pl.). [F 1640].
- (17). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1892; **1892**, I, 1894 (A. 1-13, 14 pl.). [F 1640].
- (18). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1893; **1893**, I, 1895 (A. 1-17, 14 pl.). [F 1640].
- (19). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1894; **1894**, I, 1896 (A. 1-32, 16 pl.). [F 1640].
- (20). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1895; **1895**, I, 1897 (A. 1-27, 8 pl.). [F 1640].
- (21). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1896; **1896**, I, 1898 (A. 1-40, 8 pl.). [F 1640].
- (22). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1897; **1897**, I, 1899 (A. 1-17, 8 pl.). [F 1640].
- (23). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1898; **1898**, I, 1900 (A. 1-22, 8 pl.). [F 1640].
- (24). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1899; **1899**, I, 1901 (A. 1-29, 8 pl.). [F 1640].
- (25). Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1900; **1900**, I, 1902 (A. 1-22, 8 pl.). [F 1640].
- Goutereau Charles.** — (1). Sur la variation diurne des courants horizontaux, **1898**, I, 1900 (B. 105-120). [F 1310] [F 1320].
- (2). Vents très forts et tempêtes sur les côtes françaises de la Méditerranée, **1899**, I, 1901 (B. 37-60). [F 1570] [F 1750].
- Guiol Dr.** — (1). Etude sur le climat de Nossi-Bé, **1884**, IV, 1886 (1-26, 1 pl.). [F 0710] [F 0750] [F 0810] [F 0830] [F 1020] [F 1040] [F 1180] [F 1640] [F 1700].
- Hildebrandsson Hildebrand.** — (1). Etat des glaces; époques de la végétation et de la migration des oiseaux en Suède, **1878**, I, 1879 (C. 31-46, 4 pl.). [F 0910] [F 1720].
- Laferrière Dr.** — (1). Observations météorologiques faites dans la région du Haut-Sénégal et le bassin du Niger, **1883**, IV, 1885 (B. 1-10). [F 0810] [F 1180] [F 1580] [F 1700].
- Lephay J.** — (1). Observations magnétiques faites dans le Levant en 1885-1886; **1887**, I, 1889 (B. 191-194). [F 3020].
- Lespiault.** — (1). Rapport sur les orages de l'année 1876 dans le sud-ouest de la France, **1878**, I, 1879 (A. 51-58, 4 pl.). [F 1640].

- Lespiault.** — (2). Orages de 1877 dans les départements de la Gironde, de la Dordogne, du Lot, de la Garonne et des Landes, **1878**, I, 1879 (B. 15-22, 4 pl.). [F 1640].
- (3). Rapport sur les orages de l'année 1878 dans le sud-ouest de la France, **1879**, I, 1880 (A. 23-32). [F 1640].
- (4). Rapport sur les orages de l'année 1879 dans le sud-ouest de la France, **1880**, I, 1881 (A. 23-28). [F 1640].
- (5). Rapport sur les orages de l'année 1880 dans le sud-ouest de la France, **1881**, I, 1883 (A. 17-24). [F 1640].
- (6). Rapport sur les orages de l'année 1881 dans le sud-ouest de la France, **1882**, I, 1884 (A. 15-19). [F 1640].
- (7). Rapport sur les orages de l'année 1882 dans le département de la Gironde, **1883**, I, 1885 (A. 13-18). [F 1640].
- (8). Rapport sur les orages de l'année 1883 dans le département de la Gironde, **1884**, I, 1886 (A. 17-24). [F 1640].
- (9). Rapport sur les orages de l'année 1884 dans le département de la Gironde, **1885**, I, 1887 (A. 23-28). [F 1640].
- Mangon Hervé.** — (1). Note sur la vitesse du vent à Paris de 1861 à 1866, **1889**, I, 1891 (B. 122-124). [F 1330].
- Martonne E. de.** — (1). Contribution à l'étude des pluies dans la région du Haut Nil, **1896**, I, 1898 (B. 197-212). [F 1180].
- Mascart E.** — (1). Sur la détermination du champ magnétique terrestre, **1890**, I, 1892 (B. 113-128). [F 3010].
- Michelier.** — (1). Étude sur les variations des glaciers des Pyrénées, **1885**, I, 1887 (B. 35-235, 4 pl.). [J31]
- Moureaux Th.** — (1). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant les années 1883 et 1884, **1884**, I, 1886 (B. 1-54, 16 pl.). [F 3010] [F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (2). Détermination des éléments magnétiques en France. Nouvelles cartes magnétiques, **1884**, I, 1886 (B. 55-226, 4 pl.). [F 3010] [F 3020].
- (3). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1885, **1885**, I, 1887 (B. 1-34, 8 pl.). [F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (4). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1886, **1886**, I, 1888 (B. 1-20, 8 pl.). [F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (5). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1887, **1887**, I, 1889 (B. 1-24, 8 pl.). [F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (6). Sur la périodicité des perturbations de l'aiguille aimantée horizontale à l'Observatoire du Parc Saint-Maur, d'après 5 années d'observations (1883-1887), **1887**, I, 1889 (B. 35-44, 1 pl.). [F 3050].
- (7). Détermination des éléments magnétiques dans le bassin occidental de la Méditerranée. Cartes magnétiques dressées pour 1^{er} janvier 1888, **1887**, I, 1889 (B. 45-190, 3 pl.). [F 3020].
- (8). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1888, **1888**, I, 1890 (B. 1-24, 8 pl.). [F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (9). Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1888, **1888**, I, 1890 (B. 37-82). [F 3020].
- (10). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1889, **1889**, I, 1891 (B. 1-24, 8 pl.). [F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (11). Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1889, **1889**, I, 1891 (B. 37-80). [F 3020].
- (12). Résumé des observations météorologiques faites par M. Hervé-Mangon à Brécourt (Manche), de 1868 à 1889, **1889**, I, 1891 (B. 81-121, 1 pl.). [F 0710] [F 0810] [F 0860] [F 0920] [F 0950] [F 1020] [F 1180] [F 1330] [F 1700].
- (13). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1890, **1890**, I, 1892 (B. 1-22, 8 pl.). [F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (14). Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1890, **1890**, I, 1892 (B. 35-94). [F 3020].

- Moureaux Th.** — (15) Sur l'anomalie magnétique du bassin de Paris, 1890, I, 1892 (B.95-112).
[F 3020].
- (16). Résumé des observations météorologiques faites par M. Jules Reiset à Écorchebœuf (Seine-Inférieure), de 1873 à 1882, 1890, I, 1892 (B.161-178).
[F 0410] [F 0710] [F 0810] [F 1020] [F 1180] [F 1310] [F 1700].
- (17). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1891, 1891, I, 1893 (B.1-22, 12 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (18). Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1891, 1891, I, 1893 (B.35-96).
[F 3020].
- (19). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1892, 1892, I, 1894 (B.1-28, 16 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (20). Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1892, 1892, I, 1894 (B.41-110).
[F 3020].
- (21). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1893, 1893, I, 1895 (B.1-24, 12 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050] [F 3070].
- (22). Notice sur l'installation d'une station d'étude des courants telluriques à l'Observatoire du Parc Saint-Maur, 1893, I, 1895 (B.25-38).
[F 3070].
- (23). Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1893, 1893, I, 1895 (B.51-102).
[F 3020].
- (24). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1894, 1894, I, 1896 (B.1-26, 12 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050] [F 3070].
- (25). Déterminations magnétiques faites en France pendant l'année 1894, 1894, I, 1896 (B.39-102).
[F 3020].
- (26). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1895, 1895, I, 1897 (B.1-22, 8 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050] [F 3070].
- (27). Déterminations magnétiques faites en France pendant les années 1895 et 1896, 1895, I, 1897 (B.35-87).
[F 3020].
- (28). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1896, 1896, I, 1898 (B.1-24, 12 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050] [F 3070].
- (29). Comparaison des appareils magnétiques de voyage de l'Observatoire du Parc Saint-Maur avec ceux de divers Observatoires magnétiques étrangers, 1896, I, 1898 (B.37-44). [F 3010].
- (30). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1897, 1897, I, 1899 (B.1-22, 8 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050] [F 3070].
- (31). Déterminations magnétiques faites dans le Gouvernement de Koursk (Russie) en 1896, 1897, I, 1899 (B.35-64).
[F 3020].
- (32). Résumé des observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant 15 années, de 1883 à 1897, 1897, I, 1899 (B.65-92). [F 3020] [F 3030] [F 3040] [F 3050].
- (33). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1898, 1898, I, 1900 (B.1-44, 8 pl.).
[F 3010] [F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (34). Réseau magnétique de la France au 1^{er} janvier 1896, 1898, I, 1900 (B.57-104, 8 pl.). [F 3020].
- (35). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1899, 1899, I, 1901 (B.1-23, 8 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050].
- (36). Observations magnétiques faites à l'Observatoire du Parc Saint-Maur pendant l'année 1900, 1900, I, 1902 (B.1-20, 4 pl.).
[F 3020] [F 3040] [F 3050].
- Nicolas.** — (1). Rapport sur les orages de l'année 1876 dans le département de la Haute-Loire, 1878, I, 1879 (A.59-60, 1 pl.).
[F 1640].
- Piche Albert.** — (1). Rapport sur les orages du département des Basses-Pyrénées en 1877, 1878, I, 1879 (B.11-14, 4 pl.).
[F 1640].
- Plumandon J.-R.** — (1). Rapport sur les orages de l'année 1878 dans le département du Puy-de-Dôme, 1879, I, 1880 (A.37-41).
[F 1640].
- (2). Mémoire sur les tourbillons atmosphériques du golfe de Gènes, 1881, I, 1883 (A.25-30).
[F 1570].
- (3). Sur la propagation des orages, 1885, I, 1887 (A.17-21).
[F 1640].

- Pons A. de.** — (1). Rapport sur les orages de l'année 1878 dans le département de l'Allier, 1879, I, 1880 (A.33-36). [F 1640].
- Pouchet G.** — (1). Observations sur la température de la mer faites dans le cours de la mission de Laponie, 1882, IV, 1884 (1-24). [F 0880] [F 0890].
- Raulin Victor.** — (1). Sur les observations pluviométriques faites dans la Neustrie (plaine de la France septentrionale) de 1688 à 1870, 1879, I, 1880 (B.13-37, 3 pl.). [F 1180].
 (2). Sur la distribution des pluies dans l'Afrique méridionale, 1883, IV, 1885 (B.11-30, 2 pl.). [F 1180].
 (3). Sur les régimes pluviométriques saisonniers en Europe pendant la période décennale 1871-1880, 1888, I, 1890 (C.1-22, 2 pl.). [F 1180].
 (4). Observations météorologiques faites à Montfaucon-d'Argonne (Meuse) pendant les dix années 1886-1895, 1894, I, 1896 (B.138-144). [F 0810] [F 1180] [F 1640] [F 1700].
 (5). Observations météorologiques faites à Montfaucon-d'Argonne (Meuse) pendant les cinq années 1896-1900, 1899, I, 1901 (B.61-64). [F 0810] [F 1180] [F 1640] [F 1700] [F 1720].
- Renou Émilien.** — (1). Études sur le climat de Paris. Première Partie : Pression barométrique, 1880, I, 1881 (B.41-90, 4 pl.). [F 0710] [F 1700].
 (2). Études sur le climat de Paris. Deuxième Partie : la pluie depuis 1688, 1885, I, 1887 (B.259-277). [F 1180] [F 1700].
 (3). Études sur le climat de Paris. Troisième Partie : Température, 1887, I, 1889 (B.195-226). [F 0810] [F 1700].
- Rollin G.** — (1). Étude sur l'ouragan du 20 février 1879 à travers la France, 1878, I, 1879 (C.47-64, 9 pl.). [F 1570].
 (2). Pluviosité moyenne en France par vents des régions ouest pendant les années 1877, 1878, 1879, 1881, I, 1883 (B.37-75, 2 pl.). [F 1180] [F 1550] [F 1750].
 (3). Des changements d'équilibre sur la Méditerranée, 1883, I, 1885 (B.1-28, 7 pl.). [F 1570] [F 1750].
 (4). Remarques sur les cartes synoptiques, 1886, I, 1888 (A.17-46, 8 pl.). [F 1750] [F 1770].
- Simon Dr.** — (1). Étude sur le climat de Hué (Annam), 1886, I, 1888 (C.21-36). [F 0710] [F 0810] [F 1020] [F 1080] [F 1180] [F 1570] [F 1700].
- Tastes Maurice de.** — (1). Théorie de la circulation atmosphérique, 1879, IV, 1880 (1-18, 5 pl.). [F 1310].
 (2). Rapport sur les orages de l'année 1879 dans le département d'Indre-et-Loire, 1880, I, 1881 (A.29-35). [F 1640].
- Teisserenc de Bort Léon.** — (1). Étude sur la distribution relative, à la surface du globe, des températures et des pressions moyennes pendant les mois de janvier et de juillet, 1878, IV, 1880 (1-14, 4 pl.). [F 0710] [F 0810].
 (2). Étude sur la distribution des températures moyennes pour la portion du globe comprise entre les latitudes de 10° sud et de 55° nord et les longitudes de 18° est de Paris et 100° ouest, pendant les mois de janvier et de juillet, 1878, IV, 1880 (15-20). [F 0710] [F 0810].
 (3). Étude de la circulation atmosphérique sur les continents. Péninsule ibérique, 1879, IV, 1880 (19-60, 33 pl.). [F 0710] [F 0810] [F 1310] [F 1460].
 (4). Nouvelles cartes d'isothermes et d'isobares moyennes à la surface du globe, 1881, IV, 1883 (1-15, 8 pl.). [F 0710] [F 0810].
 (5). Étude sur l'hiver de 1879-1880 et recherches sur la position des grands centres d'action de l'atmosphère dans les hivers anormaux, 1881, IV, 1883 (17-62, 224 pl.). [F 1310] [F 1750].
 (6). Sur quelques propriétés élémentaires des surfaces d'égale pression, 1882, I, 1884 (B.73-80). [F 0720].
 (7). Sur une pluie terreuse tombée aux îles Canaries le 2 février 1883, 1882, IV, 1884 (125-134, 19 pl.). [F 1240].
 (8). Étude sur la position des grands centres d'action de l'atmosphère au printemps, 1883, IV, 1885 (B.31-56, 24 pl.). [F 1310] [F 1750].

- Teisserenc de Bort** Léon. — (9). Étude sur la distribution moyenne de la nébulosité à la surface du globe, d'après les premières cartes d'isonèthes, **1884**, IV, 1886 (27-66, 13 pl.). [F 1080].
 (10). Isobares et vents d'été sur l'Atlantique nord, **1884**, IV, 1886 (67-73, 2 pl.). [F 0710] [F 1310].
 (11). Importance des hautes pressions d'Asie pour la prévision du temps sur l'Europe, **1885**, IV, 1887 (25-34, 4 pl.). [F 1750].
 (12). Étude sur la circulation générale de l'atmosphère, **1885**, IV, 1887 (35-44, 9 pl.). [F 1310].
 (13). Sur la prévision du temps; conditions actuelles et moyens de l'améliorer, **1886**, I, 1888 (C. 1-19, 11 pl.). [F 1750].
 (14). Étude sur la synthèse de la répartition des pressions à la surface du globe, **1887**, I, 1889 (C. 1-23, 4 pl.). [F 0710].
 (15). Sur le mode de formation des types d'isobares, **1888**, I, 1890 (B. 23-40, 7 pl.). [F 0720] [F 1310].
 (16). Sur le gradient barométrique vertical, **1890**, I, 1892 (B. 209-236). [F 0720] [F 1320].
 (17). Mesures des hauteurs et des mouvements des nuages par la Photographie à Trappes, **1895**, I, 1897 (B. 193-204, 5 pl.). [F 0340] [F 1100].
 (18). Étude sur la température et ses variations dans l'atmosphère libre d'après les observations recueillies par cent ballons-sondes, **1897**, I, 1899 (C. 1-34). [F 0370] [F 0820].
- Vallot** Joseph. — (1). Première série d'observations météorologiques exécutées au mont Blanc en 1887, **1892**, I, 1894 (B. 139-144). [F 0710] [F 0810] [F 1020].
- Weilbach** Philippe. — (1). Formes des nuages dans l'Europe septentrionale, **1880**, I, 1881 (B. 11-40, 4 pl.). [F 1090].
- Zenger** Ch.-V. — (1). L'héliophotographie appliquée à la prévision du temps, **1879**, I, 1880 (B. 55-80). [F 0380] [F 1750].

TABLE ANALYTIQUE GÉNÉRALE

DES MÉMOIRES CONTENUS DANS LES TOMES I ET IV

DES ANNALES DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE

POUR LES VINGT-TROIS PREMIÈRES ANNÉES 1878-1900 ⁽¹⁾.

F 0010 HISTOIRE. BIOGRAPHIE.

Le Verrier météorologiste; **1879, I, Brault** (1).

F 0030 BIBLIOGRAPHIE.

Catalogue des observations météorologiques faites en France jusqu'en 1850; **1895, I, Angot** (32)
Recherches sur l'électricité atmosphérique. Introduction historique et bibliographique; **1899, Chauveau** (1).

MÉTHODES D'OBSERVATION ET DE CALCUL.

F 0120 TABLES DE RÉDUCTION DES OBSERVATIONS.

Réduction du baromètre au niveau de la mer; **1878, I, Angot** (1).
Calcul des hauteurs au moyen des observations barométriques; **1879, I, Angot** (2).
Calcul des hauteurs au moyen des observations barométriques; **1896, I, Angot** (35).
Nouvelles Tables psychrométriques; **1880, I, Angot** (4).

(¹) Cette Table est dressée par ordre de matières, conformément à la classification adoptée pour le *Catalogue international de Littérature scientifique*. Les titres des Mémoires sont souvent donnés d'une façon abrégée, mais suffisante pour indiquer le sujet; ils sont suivis de la désignation du volume dans lequel se trouve le Mémoire, du nom de l'auteur et du numéro d'ordre du Mémoire dans la série de chaque auteur. En se reportant à ce numéro dans la Table par noms d'auteurs, on trouvera aisément, s'il est nécessaire, le titre complet et toutes les indications bibliographiques.

Quand un même Mémoire comprend l'étude de plusieurs questions, il figure dans chacune des divisions correspondantes de la Table analytique; mais, au lieu du titre général, qui souvent n'aurait plus présenté de sens, on a donné le titre du Chapitre relatif à la partie considérée. Comme ces divisions ne sont pas toujours nettement indiquées par les auteurs, j'ai dû y suppléer autant qu'il a été possible. Il serait évidemment préférable que ce travail fût fait par les auteurs eux-mêmes, qui sont le mieux qualifiés pour indiquer les divers points qu'ils ont entendu traiter.

La classification adoptée pour la Météorologie présente des lacunes et manque souvent de clarté. J'ai indiqué en notes l'interprétation que j'ai cru devoir adopter dans les cas douteux. A. ANGOT.

F 0140

ANALYSE ET CALCUL DES PERIODICITÉS.

Calcul de la variation annuelle des éléments météorologiques; 1887, I, Angot (14).

OBSERVATOIRES ET INSTRUMENTS.

F 0280

PSYCHROMÈTRES.

Études sur le psychromètre; 1880, I, Angot (4).

F 0340

NÉPHOSCOPIES.

Mesure des hauteurs des nuages par la Photographie; 1895, I, Teisserenc de Bort (17).

F 0350

ÉLECTROMÈTRES.

Recherches sur l'électricité atmosphérique; 1900, I, Chauveau (2).

F 0370

BALLONS.

Observations par ballons-sondes faites à Trappes; 1899, I, Teisserenc de Bort (18).

F 0380

APPAREILS PHOTOGRAPHIQUES.

Héliophotographie appliquée à la prévision du temps; 1879, I, Zenger (1).

PHYSIQUE DE L'ATMOSPÈRE.

F 0410

CONSTITUANTS GAZEUX.

Acide carbonique de l'air à Écorchebœuf; 1890, I, Moureaux (16).

Ozone à la Guadeloupe; 1885, IV, Boname (1).

PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

F 0710

DISTRIBUTION A LA SURFACE DU GLOBE. ISOBARES.

Pression à Brécourt (Manche); 1889, I, Moureaux (12).

Pression à Écorchebœuf (Seine-Inférieure); 1890, I, Moureaux (16).

Pression à Fécamp (Seine-Inférieure); 1853-1882. 1885, I, Angot (11).

Pression au Mont-Blanc; 1892, I, Vallot (1).

Pression à Montdidier (Somme); 1784-1869. 1899, I, Duchaussoy (1).

Pression à Paris; 1763-1878. 1880, I, Renou (1).

Pression normale de Paris; 1841-1890. 1890, I, Angot (19).

Pression à Perpignan; 1850-1879. 1881, I, Fines (1).

Pression à Saint-Martin-de-Hinx (Landes); 1886, I, Angot (13).

Pression à la Guadeloupe; 1885, IV, Boname (1).

Pression à Hué (Annam); 1886, I, Simon (1).

Pression à Nossi-Bé (Madagascar); 1884, IV, Guiol (1).

Pression moyenne de la péninsule ibérique; 1879, IV, Teisserenc de Bort (3).

Pression moyenne de l'Algérie; 1881, I, Angot (5).

Isobares d'été sur l'Atlantique nord; 1884, IV, Teisserenc de Bort (10).

Isobares moyennes de l'Atlantique (janvier, juillet); 1878, IV, Teisserenc de Bort (2).

Isobares moyennes du globe (janvier, juillet); 1878, IV, Teisserenc de Bort (1).

Isobares moyennes du globe (janvier, mars, juillet, octobre); 1881, IV, Teisserenc de Bort (4).

Étude sur la synthèse de la répartition des pressions à la surface du globe; 1887, I, Teisserenc de Bort (14).

F 0720 DISTRIBUTION DANS LA VERTICALE.

- Pression dans la région du mont Blanc, **1892**, I, **Angot** (25).
 Pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1889; **1889**, I, **Angot** (18).
 Pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1890; **1890**, I, **Angot** (20).
 Pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1891; **1891**, I, **Angot** (21).
 Pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1892; **1892**, I, **Angot** (27).
 Pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1893; **1893**, **Angot** (28).
 Pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1894; **1894**, I, **Angot** (30).
 Pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel. Résumé des 5 années 1890-1894; **1894**, I, **Angot** (31).
 Réduction du baromètre au niveau de la mer; **1878**, I, **Angot** (1).
 Sur la formule barométrique; **1896**, I, **Angot** (33).
 Gradient barométrique vertical; **1890**, I, **Teisserenc de Bort** (16).
 Propriétés élémentaires des surfaces d'égale pression; **1882**, I, **Teisserenc de Bort** (6).
 Mode de formation des types d'isobares; **1888**; I, **Teisserenc de Bort** (15).

F 0730 MESURE DE L'ALTITUDE PAR LES OBSERVATIONS BAROMÉTRIQUES.

- Calcul des hauteurs au moyen des observations barométriques; **1879**, I, **Angot** (2).
 Sur la formule barométrique; **1896**, I, **Angot** (33).

F 0750 VARIATIONS ET OSCILLATIONS PÉRIODIQUES.

- Variation diurne de la pression à Paris; **1880**, I, **Angot** (3).
 Variation diurne de la pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1889; **1889**, I, **Angot** (18).
 Variation diurne de la pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1890; **1890**, I, **Angot** (20).
 Variation diurne de la pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1891; **1891**, I, **Angot** (21).
 Variation diurne de la pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1892; **1892**, I, **Angot** (27).
 Variation diurne de la pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1893; **1893**, I, **Angot** (28).
 Variation diurne de la pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1894; **1894**, I, **Angot** (30).
 Variation diurne de la pression au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel, résumé des cinq années 1890-1894. **1894**, I, **Angot** (31).
 Variation diurne de la pression à Perpignan; **1881**, I, **Fines** (1).
 Variation diurne de la pression à Sainte-Honorine-du-Fay; **1881**, I, **Angot** (6).
 Variation diurne de la pression à Saint-Martin-de-Hinx; **1886**, I, **Angot** (13).
 Variation diurne de la pression à Nossi-Bé; **1884**, IV, **Guiol** (1).
 Variation diurne de la pression au Mont Blanc et sur les montagnes; **1892**, I, **Angot** (25).
 Étude sur la variation diurne du baromètre; **1887**, I, **Angot** (13).

TEMPÉRATURE ET RADIATION.

TEMPÉRATURE DE L'AIR.

F 0810 DISTRIBUTION A LA SURFACE DU GLOBE. ISOTHERMES.

- Température d'Angers, 1851-1900; **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Bâle, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Bordeaux, 1851-1900; **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Bourg, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Brécourt (Manche), **1889, I, Moureaux (12)**.
- Température de Bruxelles, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température d'Écorehebeuf (Seine-Inférieure), **1890, I, Moureaux (16)**.
- Température de Fécamp (Seine-Inférieure), 1853-1882; **1885, I, Angot (11)**.
- Température de Genève, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Greenwich, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Guernesey, 1851-1900; **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Lille-Laventie, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Lyon (Parc de la Tête-d'Or), 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, Angot (40)**.
- Température de Lyon (Saint-Genis), 1851-1900; **1900, I, Angot (40)**.
- ✓ Température du Mont Blanc; **1892, I, Vallot (1)**.
- Température de Marseille, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Montdidier (Somme), 1784-1869; **1899, I, Duchaussoy (2)**.
- Température de Montfaucon-d'Argonne (Meuse); **1894, I, Raulin (4)** et **1899, I, Raulin (5)**.
- Température de Montpellier, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Nantes, 1851-1900; **1900, I, Angot (40)**.
- Température d'Osborne (Wight), 1851-1900; **1900, I, Angot (40)**.
- Température de l'air au Muséum d'Histoire naturelle en 1877-1878; **1878, I, Becquerel (1)**.
- Température de l'air au Muséum d'Histoire naturelle en 1879; **1879, I, Becquerel (2)**.
- Température de l'air au Muséum d'Histoire naturelle en 1880; **1880, I, Becquerel (3)**.
- Température de l'air au Muséum d'Histoire naturelle en 1881; **1881, I, Becquerel (4)**.
- Température de l'air au Muséum d'Histoire naturelle en 1882; **1882, I, Becquerel (5)**.
- Température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1889; **1889, I, Angot (18)**.
- Température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1890; **1890, I, Angot (20)**.
- Température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1891; **1891, I, Angot (21)**.
- Température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1892; **1892, I, Angot (27)**.
- Température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1893; **1893, I, Angot (28)**.
- Température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1894; **1894, I, Angot (30)**.
- Température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel; résumé des 5 années 1890-1894; **1894, I, Angot (31)**.
- ✓ Température de Paris, 1757-1886; **1887, I, Renou (3)**.
- Température de Paris, 1841-1890; **1890, I, Angot (19)**.
- Température de Paris (Montsouris), 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Paris (Saint-Maur), 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Perpignan, 1850-1879; **1881, I, Fines (1)**.
- Température de Perpignan, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Rouen, 1851-1900; **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Strasbourg, 1851-1900; **1897, I, Angot (36)** et **1900, I, Angot (40)**.
- Température de Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot (13)**.

- Température de Trèves (Allemagne), 1851-1900; **1897**, I, **Angot** (36) et **1900**, I, **Angot** (40).
 Température de Truro (Angleterre), 1851-1900; **1900**, I, **Angot** (40).
 Température de Vendôme (Loir-et-Cher), 1851-1900; **1897**, I, **Angot** (36) et **1900**, I, **Angot** (40).
 Température de Versailles, 1851-1897; **1897**, I, **Angot** (36).
 Température de la Guadeloupe, **1885**, IV, **Boname** (1).
 Température de Hué (Annam), **1886**, I, **Simon** (1).
 Température de Nossi-Bé (Madagascar), **1884**, IV, **Guiol** (1).
 Température dans la région du Haut-Sénégal et du Niger, **1883**, IV, **Laferrière** (1).
 Température de la France, 1851-1900; stations de comparaison, **1897**, I, **Angot** (36).
 Température de la France, 1851-1900; stations de comparaison (*fn*), **1900**, I, **Angot** (40).
 Température de la péninsule ibérique, **1879**, IV, **Teisserenc de Bort** (3).
 Température de l'Algérie, **1881**, I, **Angot** (5).
 Isothermes moyennes de l'Atlantique (janvier, juillet), **1878**, IV, **Teisserenc de Bort** (2).
 Isothermes moyennes du globe (janvier, juillet), **1878**, IV, **Teisserenc de Bort** (1).
 Isothermes moyennes du globe (janvier, mars, juillet, octobre), **1881**, IV, **Teisserenc de Bort** (4).
 Variabilité des moyennes de température en France, **1897**, I, **Angot** (36) et **1900**, I, **Angot** (40).

F 0820

DISTRIBUTION DANS LA VERTICALE.

- Variation de température avec l'altitude dans la région du mont Blanc, **1892**, I, **Angot** (25).
 Variation de température avec l'altitude à la tour Eiffel en 1889; **1889**, I, **Angot** (18).
 Variation de température avec l'altitude à la tour Eiffel en 1890; **1890**, I, **Angot** (20).
 Variation de température avec l'altitude à la tour Eiffel en 1891; **1891**, I, **Angot** (21).
 Variation de température avec l'altitude à la tour Eiffel en 1892; **1892**, I, **Angot** (27).
 Variation de température avec l'altitude à la tour Eiffel en 1893; **1893**, I, **Angot** (28).
 Variation de température avec l'altitude à la tour Eiffel en 1894; **1894**, I, **Angot** (30).
 Variation de température avec l'altitude à la tour Eiffel; résumé des 5 années 1890-1894; **1894**, I, **Angot** (31).
 Variation de température dans l'atmosphère libre d'après les observations de ballons-sondes à Trappes, **1899**, I, **Teisserenc de Bort** (18).

F 0830

VARIATIONS PÉRIODIQUES.

- Variation diurne de la température dans la région du mont Blanc, **1892**, I, **Angot** (25).
 Variation diurne de la température à Paris, **1880**, I, **Angot** (3).
 Variation diurne de la température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1889; **1889**, I, **Angot** (18).
 Variation diurne de la température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1890; **1890**, I, **Angot** (20).
 Variation diurne de la température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1891; **1891**, I, **Angot** (21).
 Variation diurne de la température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1892; **1892**, I, **Angot** (27).
 Variation diurne de la température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1893; **1893**, I, **Angot** (28).
 Variation diurne de la température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1894; **1894**, I, **Angot** (30).
 Variation diurne de la température au Parc Saint-Maur, au Bureau météorologique et à la tour Eiffel; résumé des 5 années 1890-1894; **1894**, I, **Angot** (31).
 Variation diurne de la température à Perpignan, **1884**, I, **Fines** (1).
 Variation diurne de la température à Sainte-Honorine-du-Fay (Calvados), **1884**, I, **Angot** (6).
 Variation diurne de la température à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886**, I, **Angot** (13).
 Variation diurne de la température à Nossi-Bé (Madagascar), **1884**, IV, **Guiol** (1).
 Influence de la nébulosité sur la variation diurne de la température à Paris, **1888**, I, **Angot** (17).

TEMPÉRATURE DU SOL.

F 0860 TEMPÉRATURE DU SOL. VARIATION DANS LA VERTICALE.

- Température du sol à Brécourt (Manche), **1889, I, Moureaux** (12).
 Température du sol au Muséum d'Histoire naturelle en 1877 et 1878: **1878, I, Becquerel** (1).
 Température du sol au Muséum d'Histoire naturelle en 1879: **1879, I, Becquerel** (2).
 Température du sol au Muséum d'Histoire naturelle en 1880: **1880, I, Becquerel** (3).
 Température du sol au Muséum d'Histoire naturelle en 1881: **1881, I, Becquerel** (4).
 Température du sol au Muséum d'Histoire naturelle en 1882: **1882, I, Becquerel** (5).
 Température du sol à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot** (13).

TEMPÉRATURE DE LA MER.

F 0880 SURFACE.

- Températures de la mer observées dans la mission de Laponie, **1882, IV, Pouchet** (1).

F 0890 TEMPÉRATURE DE LA MER. VARIATION DANS LA VERTICALE.

- Températures de la mer observées dans la mission de Laponie, **1882, IV, Pouchet** (1).

F 0910 TEMPÉRATURE DES RIVIÈRES ET DES LACS.

- État des glaces en Suède, **1889, I, Hildebrandsson** (1).

F 0920 TEMPÉRATURE DES SOURCES.

- Température des puits à Brécourt (Manche), **1889, I, Moureaux** (12).

F 0930 RADIATION SOLAIRE.

- Recherches théoriques sur la distribution de la chaleur solaire à la surface du globe, **1883, I, Angot** (9).

F 0950 DURÉE D'APPARITION DU SOLEIL.

- Durée d'insolation à Brécourt (Manche), **1889, I, Moureaux** (12).
 Durée d'insolation à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot** (13).

VAPEUR D'EAU ET PLUIE.

VAPEUR D'EAU.

F 1010 TENSION DE LA VAPEUR.

- Tension de la vapeur au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1889; **1889, I, Angot** (18).
 Tension de la vapeur au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1890; **1890, I, Angot** (20).
 Tension de la vapeur au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1891; **1891, I, Angot** (21).
 Tension de la vapeur au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1892; **1892, I, Angot** (27).
 Tension de la vapeur au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1893; **1893, I, Angot** (28).
 Tension de la vapeur au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1894; **1894, I, Angot** (30).
 Tension de la vapeur au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel; résumé des 5 années 1890-1894;
1894, I, Angot (31).
 Tension de la vapeur à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot** (13).

F 1020

HUMIDITÉ.

- Humidité relative à Brécourt (Manche), **1889, I, Moureaux (12)**.
 Humidité relative à Écorchebœuf (Seine-Inférieure), **1890, I, Moureaux (16)**.
 Humidité relative au mont Blanc, **1892, I, Vallot (1)**.
 Humidité relative au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1889; **1889, I, Angot (18)**.
 Humidité relative au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1890; **1890, I, Angot (20)**.
 Humidité relative au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1891; **1891, I, Angot (21)**.
 Humidité relative au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1892; **1892, I, Angot (27)**.
 Humidité relative au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1893; **1893, I, Angot (28)**.
 Humidité relative au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1894; **1894, I, Angot (30)**.
 Humidité relative au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel, résumé des 5 années 1890-1894; **1894, I, Angot (31)**.
 Humidité relative à Perpignan, **1881, I, Fines (1)**.
 Humidité relative à Saint-Martin-de-Hinx, **1886, I, Angot (13)**.
 Humidité relative à la Guadeloupe, **1885, IV, Boname (1)**.
 Humidité relative à Hué (Annam), **1886, I, Simon (1)**.
 Humidité relative à Nossi-Bé (Madagascar), **1884, IV, Guiol (1)**.

F 1040

VARIATIONS PÉRIODIQUES DE LA VAPEUR.

- Variation diurne de la tension de vapeur et de l'humidité relative à Paris, **1880, I, Angot (3)**.
 Variation diurne de la tension et de l'humidité au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1889; **1889, I, Angot (18)**.
 Variation diurne de la tension et de l'humidité au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1890; **1890, I, Angot (20)**.
 Variation diurne de la tension et de l'humidité au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1891; **1891, I, Angot (21)**.
 Variation diurne de la tension et de l'humidité au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1892; **1892, I, Angot (27)**.
 Variation diurne de la tension et de l'humidité au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1893; **1893, I, Angot (28)**.
 Variation diurne de la tension et de l'humidité au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel en 1894; **1894, I, Angot (30)**.
 Variation diurne de la tension et de l'humidité au Parc Saint-Maur et à la tour Eiffel, résumé des 5 années 1890-1894; **1894, I, Angot (31)**.
 Variation diurne de l'humidité relative à Perpignan, **1881, I, Fines (1)**.
 Variation diurne de l'humidité relative à Sainte-Honorine-du-Fay (Calvados), **1881, I, Angot (6)**.
 Variation diurne de la tension et de l'humidité à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot (13)**.
 Variation diurne de l'humidité à Nossi-Bé (Madagascar), **1884, IV, Guiol (1)**.

F 1050

ÉVAPORATION.

- Évaporation (moyennes et variation diurne) au Bureau météorologique en 1889; **1889, I, Angot (18)**.
 Évaporation (moyennes et variation diurne) au Bureau météorologique en 1890; **1890, I, Angot (20)**.
 Évaporation (moyennes et variation diurne) au Bureau météorologique en 1891; **1891, I, Angot (21)**.
 Évaporation (moyennes et variation diurne) au Bureau météorologique en 1892; **1892, I, Angot (27)**.
 Évaporation (moyennes et variation diurne) au Bureau météorologique en 1893; **1893, I, Angot (28)**.
 Évaporation (moyennes et variation diurne) au Bureau météorologique en 1894; **1894, I, Angot (30)**.
 Évaporation (moyennes et variation diurne) au Bureau météorologique, résumé des 5 années 1890-1894; **1894, I, Angot (31)**.
 Évaporation à Perpignan, **1881, I, Fines (1)**.
 Évaporation à la Guadeloupe, **1885, IV, Boname (1)**.

F 1070

FORMATION ET DISTRIBUTION DU BROUILLARD.

- Jours de brouillard à Saint-Martin-de-Hinx, **1886, I, Angot (13)**.

F 1080FORMATION DES NUAGES [NÉBULOSITÉ ⁽¹⁾].

La nébulosité à Paris (moyennes et variation diurne), **1891**, I, **Angot** (22).
 Nébulosité à Perpignan, **1881**, I, **Fines** (1).
 Variation diurne de la nébulosité à Sainte-Honorine-du-Pay (Calvados), **1881**, I, **Angot** (6).
 Nébulosité (moyennes et variation diurne) à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886**, I, **Angot** (13).
 Etat du ciel à Hué (Annam), **1886**, I, **Simon** (1).
 Distribution de la nébulosité à la surface du globe, **1884**, IV, **Teisserenc de Bort** (9).
 Influence de la nébulosité sur la variation diurne de la température, **1888**, I, **Angot** (17).
 Vents contigus et nuages, **1896**, I, **Brillouin** (1).

F 1090

DIVERSES FORMES DE NUAGES.

Formes des nuages dans l'Europe septentrionale, **1880**, I, **Weilbach** (1).

F 1100

HAUTEUR DES NUAGES.

Mesure des hauteurs et des mouvements des nuages par la Photographie à Trappes, **1895**, I, **Teisserenc de Bort** (17).

PLUIE.

F 1170

CAUSES QUI PRODUISENT LA CONDENSATION.

Vents contigus et nuages, **1896**, I, **Brillouin** (1).

F 1180

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE.

Hauteur et nombre de jours de pluie à Brécourt (Manche), **1889**, I, **Moureaux** (12).
 Hauteur et nombre de jours de pluie à Ecorehebruf (Seine-Inférieure), **1890**, I, **Moureaux** (16).
 Hauteur et nombre de jours de pluie à Fécamp (Seine-Inférieure), **1885**, I, **Angot** (11).
 Hauteur et nombre de jours de pluie à Montdidier (Somme), 1787-1869; **1899**, I, **Duchaussoy** (2).
 Hauteur de pluie à Montfaucon-d'Argonne (Meuse), 1886-1895; **1894**, I, **Raulin** (4).
 Hauteur de pluie à Montfaucon-d'Argonne (Meuse), 1896-1900; **1899**, I, **Raulin** (3).
 La pluie à Paris: hauteurs de pluie, 1806-1885; nombre de jours de pluie, 1759-1885; **1885**, I, **Renou** (2).
 Hauteur normale de pluie à Paris, 1841-1890; **1890**, I, **Angot** (19).
 Hauteur et nombre de jours de pluie à Perpignan, **1881**, I, **Fines** (1).
 Hauteur et nombre de jours de pluie à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886**, I, **Angot** (13).
 Hauteur et nombre de jours de pluie à la Guadeloupe, **1885**, IV, **Boname** (1).
 Hauteur de pluie à Hué (Annam), **1886**, I, **Simon** (1).
 Hauteur de pluie à Nossi-Bé (Madagascar), **1884**, IV, **Guiol** (1).
 Pluie en Neustrie (France septentrionale), **1879**, I, **Raulin** (1).
 Pluies de la péninsule ibérique, **1893**, I, **Angot** (29).
 Pluies de l'Europe occidentale, **1895**, I, **Angot** (33).
 Pluie moyenne en Algérie (hauteur et nombre de jours), **1881**, I, **Angot** (5).
 Pluie dans la région du Haut-Sénégal et du Niger, **1883**, IV, **Laferrière** (1).
 Pluie dans la région du Haut-Nil, **1896**, I, **de Martonne** (1).
 Pluie dans l'Afrique méridionale, **1883**, IV, **Raulin** (2).
 Régimes pluviométriques saisonniers en Europe, **1888**, I, **Raulin** (3).
 Pluviosité moyenne en France par vents d'ouest, **1881**, I, **Rollin** (2).

F 1200

PÉRIODICITÉ.

Variation diurne de la hauteur et de la fréquence de la pluie à Paris en 1889; **1889**, I, **Angot** (18).

(¹) La nébulosité a été oubliée dans la classification du *Catalogue international*. On ne peut la faire rentrer provisoirement que dans ce Chapitre.

Variation diurne de la hauteur et de la fréquence de la pluie à Paris en 1890; **1890, I, Angot (20)**.
 Variation diurne de la hauteur et de la fréquence de la pluie à Paris en 1891; **1891, I, Angot (21)**.
 Variation diurne de la hauteur et de la fréquence de la pluie à Paris en 1892; **1892, I, Angot (27)**.
 Variation diurne de la hauteur et de la fréquence de la pluie à Paris en 1893; **1893, I, Angot (28)**.
 Variation diurne de la hauteur et de la fréquence de la pluie à Paris en 1894; **1894, I, Angot (30)**.
 Variation diurne de la hauteur et de la fréquence de la pluie à Paris, résumé des 5 années 1890-1894;
1894, I, Angot (31).
 Variation diurne de la hauteur de pluie à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot (13)**.

F 1210 GRANDES AVERSES.

Grandes averses à Perpignan, **1881, I, Fines (1)**.
 Grandes averses à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot (13)**.

F 1240 CHUTES DE SUBSTANCES DIVERSES.

Pluie terreuse aux îles Canaries, **1882, IV, Teisserenc de Bort (7)**.

GRÊLE, NEIGE ET GELEE BLANCHE.

F 1260 GRÊLE.

Nombre de jours de grêle à Fécamp (Seine-Inférieure), **1885, I, Angot (11)**.
 Nombre de jours de grêle à Montdidier (Somme), **1899, I, Duchaussoy (2)**.
 Nombre de jours de grêle à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot (13)**.
 Zones à grêle du département de la Somme, **1893, I, Duchaussoy (1)**.

F 1270 NEIGE.

Nombre de jours de neige à Fécamp (Seine-Inférieure), **1885, I, Angot (11)**.
 Nombre de jours de neige à Montdidier (Somme), **1899, I, Duchaussoy (2)**.
 Nombre de jours de neige à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, I, Angot (13)**.

VENT.

VENT.

F 1300 GÉNÉRALITÉS.

Vents contigus et nuages, **1896, I, Brillouin (1)**.

F 1310 CIRCULATION DE L'ATMOSPHÈRE.

Fréquence des vents à Ecorchebœuf (Seine-Inférieure), **1890, I, Moureaux (16)**.
 Fréquence des vents à Fécamp (Seine-Inférieure), **1885, I, Angot (11)**.
 Fréquence des vents au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1889; **1889, I, Angot (18)**.
 Fréquence des vents au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1890; **1890, I, Angot (20)**.
 Fréquence des vents au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1891; **1891, I, Angot (21)**.
 Fréquence des vents au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1892; **1892, I, Angot (27)**.
 Fréquence des vents au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1893; **1893, I, Angot (28)**.
 Fréquence des vents au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1894; **1894, I, Angot (30)**.
 Direction moyenne des vents au Bureau météorologique et à la tour Eiffel, moyenne des 6 années
 1890-1895; **1897, I, Angot (37)**.
 Variation diurne de la direction du vent à la tour Eiffel, **1897, I, Angot (37)**.
 Fréquence des vents à Perpignan, **1881, I, Fines (1)**.
 Direction moyenne du vent et variation diurne à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886, Angot (13)**.

Circulation atmosphérique sur la péninsule ibérique. **1879, IV, Teisserenc de Bort** (3).
 Variation diurne des courants horizontaux, **1898, I, Goutereau** (1).
 Direction moyenne du vent sur l'Atlantique nord, **1880, IV, Brault** (2).
 Isobares et vent d'été sur l'Atlantique nord, **1884, IV, Teisserenc de Bort** (10).
 Hiver de 1879-1880 et position des grands centres d'action de l'atmosphère dans les hivers anormaux. **1884, IV, Teisserenc de Bort** (5).
 Position des grands centres d'action de l'atmosphère au printemps. **1883, IV, Teisserenc de Bort** (8).
 Mode de formation des types d'isobares, **1888, I, Teisserenc de Bort** (15).
 Théorie de la circulation générale de l'atmosphère, **1879, IV, de Tastes** (1).
 Étude sur la circulation générale de l'atmosphère, **1885, IV, Teisserenc de Bort** (12).

F 1320 RELATION DU VENT AVEC LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE. GRADIENTS.

Variation diurne des courants horizontaux, **1898, I, Goutereau** (1).
 Sur le gradient barométrique vertical, **1890, I, Teisserenc de Bort** (16).

F 1330 VITESSE A LA SURFACE DU SOL.

Vitesse du vent (moyennes et variation horaire) à Brécourt (Manche), **1889, I, Moureaux** (12).
 Vitesse du vent à Paris, **1889, I, Mangon** (1).
 Vitesse du vent (moyennes, variation horaire et composante verticale) au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1889: **1889, I, Angot** (18).
 Vitesse du vent (moyennes, variation horaire et composante verticale) au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1890: **1890, I, Angot** (20).
 Vitesse du vent (moyennes, variation horaire et composante verticale) au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1891: **1891, I, Angot** (21).
 Vitesse du vent (moyennes, variation horaire et composante verticale) au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1892: **1892, I, Angot** (27).
 Vitesse du vent (moyennes, variation horaire et composante verticale) au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1893: **1893, I, Angot** (28).
 Vitesse du vent (moyennes, variation horaire et composante verticale) au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1894: **1894, I, Angot** (30).
 Vitesse du vent (moyennes et variation horaire) au Bureau météorologique et à la tour Eiffel: résumé des 6 années 1890-1895: **1897, I, Angot** (37).
 Vitesse du vent (moyennes et variation horaire) à Perpignan. **1881, I, Fines** (1).
 Vitesse du vent (moyennes et variation horaire) à Saint-Martin-de-Hinx (Landes). **1886, I, Angot** (13).
 Force du vent sur l'Atlantique nord, **1880, IV, Brault** (2).

F 1340 VARIATION DE VITESSE AVEC LA HAUTEUR.

Comparaison des vitesses du vent au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1889: **1889, I, Angot** (18).
 Comparaison des vitesses du vent au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1890: **1890, I, Angot** (20).
 Comparaison des vitesses du vent au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1891: **1891, I, Angot** (21).
 Comparaison des vitesses du vent au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1892: **1892, I, Angot** (27).
 Comparaison des vitesses du vent au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1893: **1893, I, Angot** (28).
 Comparaison des vitesses du vent au Bureau météorologique et à la tour Eiffel en 1894: **1894, I, Angot** (30).
 Comparaison des vitesses du vent au Bureau météorologique et à la tour Eiffel, résumé des 6 années 1890-1895: **1897, I, Angot** (37).
 Variation avec la hauteur à Perpignan, **1881, I, Fines** (1).

F 1360 PRESSION EXERCÉE PAR LE VENT.

Efforts exercés par le vent, **1881, I, Fines** (1).

VENTS CONSTANTS ET LOCAUX.

F 1410 VENTS ALIZÉS.

Vents de l'Atlantique nord, **1880**, IV, **Brault** (2).

F 1420 RÉGIONS DE CALME.

Vents de l'Atlantique nord, **1880**, IV, **Brault** (2).

VENTS PÉRIODIQUES.

F 1460 MOUSSONS.

Circulation atmosphérique sur la péninsule ibérique, **1879**, IV, **Teisserenc de Bort** (3).

CYCLONES ET ANTICYCLONES (1).

F 1550 GÉNÉRALITÉS.

Pluviosité en France par vents des régions ouest, **1881**, I, **Rollin** (2).

F 1570 DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES TEMPÊTES CYCLONIQUES.

Tourbillons du golfe de Gènes, **1881**, I, **Plumandon** (2).

Changements d'équilibre sur la Méditerranée, **1883**, I, **Rollin** (3).

Vents très forts et tempêtes sur la Méditerranée, **1899**, I, **Goutereau** (2).

Ouragan du 20 février 1879 à travers la France, **1878**, I, **Rollin** (1).

Ouragans de la Guadeloupe, **1885**, IV, **Boname** (1).

Cyclone de Quin'hone (Annam) du 17 octobre 1886; **1886**, I, **Simon** (1).

F 1580 TOURBILLONS. TORNADES.

Tornades dans la région du Haut-Sénégal et du Niger, **1883**, IV, **Laferrière** (1).

Les grains et les orages, **1892**, I, **Durand-Gréville** (1).

Les grains et les tornades, **1893**, I, **Durand-Gréville** (2).

Les grains et le burster d'Australie, **1895**, I, **Durand-Gréville** (3).

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

F 1600 GÉNÉRALITÉS.

Introduction historique et bibliographique à l'étude de l'électricité atmosphérique, **1899**, I, **Chauveau** (1).

F 1610 POTENTIEL. VARIATIONS DUES AUX CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES LOCALES.

Recherches sur l'électricité atmosphérique, **1900**, I, **Chauveau** (2).

F 1620 POTENTIEL. VARIATIONS PÉRIODIQUES.

Variation diurne de l'électricité atmosphérique, **1900**, I, **Chauveau** (2).

(1) Cette partie de la classification semble laisser beaucoup à désirer; la plupart des Mémoires ne peuvent y figurer d'une manière rationnelle.

F 1640

ORAGES (1).

- Orages dans le département de l'Ain en 1877; **1878, I, Buchalu** (1).
 Orages dans le département de l'Allier en 1878; **1879, I, de Pons** (1).
 Orages dans le département d'Eure-et-Loir en 1877; **1878, I, Barois** (1).
 Orages dans le département de la Gironde en 1882; **1883, I, Lespiault** (7).
 Orages dans le département de la Gironde en 1883; **1884, I, Lespiault** (8).
 Orages dans le département de la Gironde en 1884; **1885, I, Lespiault** (9).
 Orages dans le département d'Indre-et-Loire en 1879; **1880, I, de Tastes** (2).
 Orages dans le département de la Haute-Loire en 1876; **1878, I, Nicolas** (1).
 Orages dans le département de la Haute-Marne en 1876; **1878, I, Carlier** (1).
 Orages dans le département de la Haute-Marne en 1877; **1878, I, Carlier** (2).
 Orages dans le département du Puy-de-Dôme en 1878; **1879, I, Plumandon** (1).
 Orages dans le département des Basses-Pyrénées en 1877; **1878, I, Piche** (1).
 Orages dans le département de l'Yonne en 1877; **1878, I, David** (1).
 Orages dans le sud-ouest de la France en 1876; **1878, I, Lespiault** (1).
 Orages dans le sud-ouest de la France en 1877; **1878, I, Lespiault** (2).
 Orages dans le sud-ouest de la France en 1878; **1879, I, Lespiault** (3).
 Orages dans le sud-ouest de la France en 1879; **1880, I, Lespiault** (4).
 Orages dans le sud-ouest de la France en 1880; **1881, I, Lespiault** (5).
 Orages dans le sud-ouest de la France en 1881; **1882, I, Lespiault** (6).
 Orages en France en 1876; **1878, I, Fron** (1).
 Orages en France en 1877; **1878, I, Fron** (2).
 Orages en France en 1878; **1879, I, Fron** (3).
 Orages en France en 1879; **1880, I, Fron** (4).
 Orages en France en 1880; **1881, I, Fron** (5).
 Orages en France en 1881; **1882, I, Fron** (6).
 Orages en France en 1882; **1883, I, Fron** (7).
 Orages en France en 1883; **1884, I, Fron** (8).
 Orages en France en 1884; **1885, I, Fron** (9).
 Orages en France en 1885; **1886, I, Fron** (10).
 Orages en France en 1886; **1887, I, Fron** (11).
 Orages en France en 1887; **1888, I, Fron** (12).
 Orages en France en 1888; **1888, I, Fron** (13).
 Orages en France en 1889; **1889, I, Fron** (14).
 Orages en France en 1890; **1890, I, Fron** (15).
 Orages en France en 1891; **1891, I, Fron** (16).
 Orages en France en 1892; **1892, I, Fron** (17).
 Orages en France en 1893; **1893, I, Fron** (18).
 Orages en France en 1894; **1894, I, Fron** (19).
 Orages en France en 1895; **1895, I, Fron** (20).
 Orages en France en 1896; **1896, I, Fron** (21).
 Orages en France en 1897; **1897, I, Fron** (22).
 Orages en France en 1898; **1898, I, Fron** (23).
 Orages en France en 1899; **1899, I, Fron** (24).
 Orages en France en 1900; **1900, I, Fron** (25).
 Nombre de jours d'orages à Écorchebœuf (Seine-Inférieure), **1890, I, Moureaux** (16).
 Nombre de jours d'orages à Fécamp (Seine-Inférieure), **1885, I, Angot** (11).
 Nombre de jours de tonnerre à Montdidier (Somme), 1784-1869; **1899, I, Duchaussoy** (2).
 Nombre de jours d'orages à Montfaucon-d'Argonne (Meuse), 1886-1895; **1894, I, Raulin** (4).
 Nombre de jours d'orages à Montfaucon-d'Argonne (Meuse), 1896-1900; **1899, I, Raulin** (5).

(1) Nous rangeons ici tous les Mémoires relatifs aux orages pour nous conformer à la classification du *Catalogue international*, bien que, dans presque tous ces Mémoires, il ne soit question que des relations des orages avec les dépressions barométriques, et nullement d'électricité atmosphérique.

- Nombre de jours d'orages à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886**, I, **Angot** (13).
 Orages à Nossi-Bé (Madagascar), **1884**, IV, **Guiol** (1).
 Sur la propagation des orages, **1885**, I, **Plumandon** (3).
 Les grains et les orages, **1892**, I, **Durand-Gréville** (1).

CLIMATOLOGIE ET TEMPS.

F 1700

GÉNÉRALITÉS.

- Climat de Brécourt (Manche), **1889**, I, **Moureaux** (12).
 Climat d'Écorcheboeuf (Seine-Inférieure), **1890**, I, **Moureaux** (16).
 Climat de Fécamp (Seine-Inférieure), **1885**, I, **Angot** (11).
 Climat de Montdidier (Somme), **1899**, I, **Duchaussoy** (2).
 Climat de Montfaucon-d'Argonne (Meuse), **1894**, I, **Raulin** (4).
 Climat de Montfaucon-d'Argonne (Meuse), **1899**, I, **Raulin** (5).
 Climat de Paris. Pression, **1880**, I, **Renou** (1).
 Climat de Paris. Pluie, **1885**, I, **Renou** (2).
 Climat de Paris. Température, **1887**, I, **Renou** (3).
 Climat de Paris; valeurs normales de la pression, de la température et de la pluie, 1841-1890; **1890**, I, **Angot** (19).
 Climat de Saint-Martin-de-Hinx (Landes), **1886**, I, **Angot** (13).
 Climatologie du Roussillon, **1881**, I, **Fines** (1).
 Climat de la France. Température. Stations de comparaison, 1851-1897; **1897**, I, **Angot** (36).
 Climat de la France. Température. Stations de comparaison, 1851-1900 (*fin*); **1900**, I, **Angot** (40).
 Climat de l'Algérie, **1884**, I, **Angot** (5).
 Climat de la Guadeloupe, **1885**, IV, **Boname** (1).
 Climat de Hué (Annam), **1886**, I, **Simon** (1).
 Climat de Nossi-Bé (Madagascar), **1884**, IV, **Guiol** (1).
 Climat du Sénégal, **1879**, IV, **Borius** (1).
 Climat de la région du Haut-Sénégal et du Niger, **1883**, IV, **Laferrière** (1).

F 1710

RELATIONS AVEC L'AGRICULTURE.

- Phénomènes de végétation en France pendant les années 1880 et 1881; **1882**, I, **Angot** (7).
 Phénomènes de végétation en France pendant les années 1882 et 1883; **1884**, I, **Angot** (10).
 Phénomènes de végétation en France pendant les années 1884 et 1885; **1886**, I, **Angot** (12).
 Phénomènes de végétation en France pendant les années 1886 et 1887; **1888**, I, **Angot** (16).
 Phénomènes de végétation en France pendant les années 1888 et 1889; **1891**, I, **Angot** (23).
 Phénomènes de végétation en France pendant l'année 1890; **1892**, I, **Angot** (24).
 Phénomènes de végétation en France, résumé des 10 années 1881-1890; **1892**, I, **Angot** (26).
 Étude sur les vendanges en France, **1883**, I, **Angot** (8).

F 1720

RELATIONS AVEC LA PHÉNOLOGIE.

- Observations sur les oiseaux à Montdidier (Somme), 1784-1869; **1899**, I, **Duchaussoy** (2).
 Phénomènes de végétation à Montfaucon-d'Argonne (Meuse), **1899**, I, **Raulin** (5).
 Végétation et migrations des oiseaux en France pendant les années 1880 et 1881; **1882**, I, **Angot** (7).
 Végétation et migrations des oiseaux en France pendant les années 1882 et 1883; **1884**, I, **Angot** (10).
 Végétation et migrations des oiseaux en France pendant les années 1884 et 1885; **1886**, I, **Angot** (12).
 Végétation et migrations des oiseaux en France pendant les années 1886 et 1887; **1888**, I, **Angot** (16).
 Végétation et migrations des oiseaux en France pendant les années 1888 et 1889; **1891**, I, **Angot** (23).
 Végétation et migrations des oiseaux en France pendant l'année 1890; **1892**, I, **Angot** (24).
 Végétation et migrations des oiseaux en France, résumé des 10 années 1881-1890; **1892**, I, **Angot** (26).
 Étude sur les vendanges en France, **1883**, I, **Angot** (8).
 Migration des oiseaux en France. Premier chant du Coucou, **1898**, I, **Angot** (38).
 Végétation et migration des oiseaux en Suède, **1878**, I, **Hildebrandsson** (1).

Phénomènes périodiques de la végétation en Suède, **1879, I, Flahault (1)**.

PRÉVISION DU TEMPS.

F 1750

GÉNÉRALITÉS.

Pluviosité moyenne en France par vents des régions ouest, **1881, I, Rollin (2)**.

Changements d'équilibre sur la Méditerranée, **1883, I, Rollin (3)**.

Vents très forts et tempêtes sur la Méditerranée, **1899, Goutereau (2)**.

Hiver 1879-1880 et position des grands centres d'action de l'atmosphère dans les hivers anormaux, **1881, IV, Teisserenc de Bort (5)**.

Position des grands centres d'action de l'atmosphère au printemps, **1883, IV, Teisserenc de Bort (8)**.

Importance des hautes pressions d'Asie pour la prévision du temps, **1885, IV, Teisserenc de Bort (11)**.

Remarques sur les cartes synoptiques, **1886, I, Rollin (4)**.

Prévision du temps, conditions actuelles et moyens de l'améliorer, **1886, I, Teisserenc de Bort (13)**.

Héliophotographie appliquée à la prévision du temps, **1879, I, Zenger (1)**.

F 1770

CARTES SYNOPTIQUES.

Remarques sur les cartes synoptiques, **1886, I, Rollin (3)**.

MAGNÉTISME TERRESTRE. COURANTS TELLURIQUES.

F 3010 OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES. MÉTHODES POUR MESURER LES VALEURS ET LES VARIATIONS DES ÉLÉMENTS MAGNÉTIQUES.

Observatoire magnétique du Parc Saint-Maur; installation et description des appareils employés, **1884, I, Moureaux (1)**.

Appareils magnétiques de voyage du Parc Saint-Maur, **1884, I, Moureaux (2)**.

Comparaison des appareils magnétiques de voyage du Parc Saint-Maur avec ceux de divers observatoires magnétiques étrangers, **1896, I, Moureaux (29)**.

Observatoire magnétique du Parc Saint-Maur; installation et description des appareils, **1898, I, Moureaux (33)**.

Détermination du champ magnétique terrestre, **1890, I, Mascart (1)**.

F 3020

ÉTAT MAGNÉTIQUE DE LA SURFACE DE LA TERRE. LEVÉS.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1883 et 1884; **1884, I, Moureaux (1)**

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1885; **1885, I, Moureaux (3)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1886; **1886, I, Moureaux (4)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1887; **1887, I, Moureaux (5)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1888; **1888, I, Moureaux (8)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1889; **1889, I, Moureaux (10)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1890; **1890, I, Moureaux (13)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1891; **1891, I, Moureaux (17)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1892; **1892, I, Moureaux (19)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1893; **1893, I, Moureaux (21)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1894; **1894, I, Moureaux (24)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1895; **1895, I, Moureaux (26)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1896; **1896, I, Moureaux (28)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1897; **1897, I, Moureaux (30)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1898; **1898, I, Moureaux (33)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1899; **1899, I, Moureaux (35)**.

Observations magnétiques au Parc Saint-Maur en 1900; **1900, I, Moureaux (36)**.

Observations magnétiques à Perpignan en 1886; **1886, I, Fines (2)**.

Observations magnétiques à Perpignan en 1887; **1887, I, Courdevache (1)**.

Observations magnétiques à Perpignan en 1888; **1888, I, Cœurdevache (2).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1889; **1889, I, Cœurdevache (3).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1890; **1890, I, Cœurdevache (4).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1891; **1891, I, Cœurdevache (5).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1892; **1892, I, Cœurdevache (6).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1893; **1893, I, Cœurdevache (7).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1894; **1894, I, Cœurdevache (8).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1895; **1895, I, Cœurdevache (9).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1896; **1896, I, Cœurdevache (10).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1897; **1897, I, Cœurdevache (11).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1898; **1898, I, Cœurdevache (12).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1899; **1899, I, Cœurdevache (13).**
 Observations magnétiques à Perpignan en 1900; **1900, I, Cœurdevache (14).**
 Détermination des éléments magnétiques en France. Nouvelles cartes magnétiques, **1884, I, Moureaux (2).**
 Déterminations magnétiques faites en France en 1888; **1888, I, Moureaux (9).**
 Déterminations magnétiques faites en France en 1889; **1889, I, Moureaux (11).**
 Déterminations magnétiques faites en France en 1890; **1890, I, Moureaux (14).**
 Déterminations magnétiques faites en France en 1891; **1891, I, Moureaux (18).**
 Déterminations magnétiques faites en France en 1892; **1892, I, Moureaux (20).**
 Déterminations magnétiques faites en France en 1893; **1893, I, Moureaux (23).**
 Déterminations magnétiques faites en France en 1894; **1894, I, Moureaux (25).**
 Déterminations magnétiques faites en France en 1895-1896; **1895, I, Moureaux (31).**
 Réseau magnétique de la France au 1^{er} janvier 1896; **1898, I, Moureaux (34).**
 Déterminations magnétiques dans le bassin occidental de la Méditerranée, **1887, I, Moureaux (7).**
 Observations magnétiques dans le Levant en 1885-1886; **1887, I, Lephay (1).**
 Anomalie magnétique du bassin de Paris, **1890, I, Moureaux (15).**
 Déterminations magnétiques faites dans le gouvernement de Koursk (Russie), **1897, I, Moureaux (31).**

F 3030 VARIATIONS SÉCULAIRES.

Résumé des observations magnétiques faites au Parc Saint-Maur pendant les 15 années 1883-1897; **1897, I, Moureaux (32).**

F 3040 VARIATIONS MAGNÉTIQUES DIURNES ET D'AUTRES PÉRIODES.

Variation diurne des divers éléments magnétiques au Parc Saint-Maur pour chacune des 18 années 1883-1900. (*Voir plus haut : observations magnétiques du Parc Saint-Maur.*)

Variation diurne des divers éléments magnétiques au Parc Saint-Maur, résumé des 15 années 1883-1897; **1897, I, Moureaux (32).**

Variation diurne de la déclinaison magnétique au Parc Saint-Maur, **1899, I, Angot (39).**

Variation diurne des divers éléments magnétiques à Perpignan pour chacune des 15 années 1886-1900. (*Voir plus haut : Observations magnétiques à Perpignan.*)

F 3050 PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES.

Perturbations magnétiques au Parc Saint-Maur pour chacune des 18 années 1883-1900. (*Voir plus haut : Observations magnétiques au Parc Saint-Maur.*)

Périodicité des perturbations de l'aiguille aimantée horizontale au Parc Saint-Maur, **1887, I, Moureaux (6).**

Résumé des perturbations magnétiques au Parc Saint-Maur pendant les 15 années 1883-1897; **1897, I, Moureaux (32).**

F 3060 RELATIONS ENTRE LE MAGNÉTISME TERRESTRE ET LES CORPS CÉLESTES.

Relations entre les taches du Soleil et la variation diurne de la déclinaison, **1899, I, Angot (39).**

F 3070 RELATIONS ENTRE LE MAGNÉTISME TERRESTRE ET LES COURANTS TELLURIQUES.

Courbes simultanées des variations magnétiques et des courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1893; **1893, I, Moureaux** (21).

Courbes simultanées des variations magnétiques et des courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1894; **1894, I, Moureaux** (24).

Courbes simultanées des variations magnétiques et des courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1895; **1895, I, Moureaux** (26).

Courbes simultanées des variations magnétiques et des courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1896; **1896, I, Moureaux** (28).

Courbes simultanées des variations magnétiques et des courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1897; **1897, I, Moureaux** (30).

F 4100

COURANTS TELLURIQUES.

Station d'étude des courants telluriques au Parc Saint-Maur, **1893, I, Moureaux** (22).

Courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1893; **1893, I, Moureaux** (21).

Courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1894; **1894, I, Moureaux** (24).

Courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1895; **1895, I, Moureaux** (26).

Courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1896; **1896, I, Moureaux** (28).

Courants telluriques au Parc Saint-Maur en 1897; **1897, I, Moureaux** (30).

GÉOGRAPHIE.

J 31

CHAMPS DE NEIGE. GLACIERS. ICEBERGS.

Variations des glaciers des Pyrénées, **1885, I, Michelier** (1).

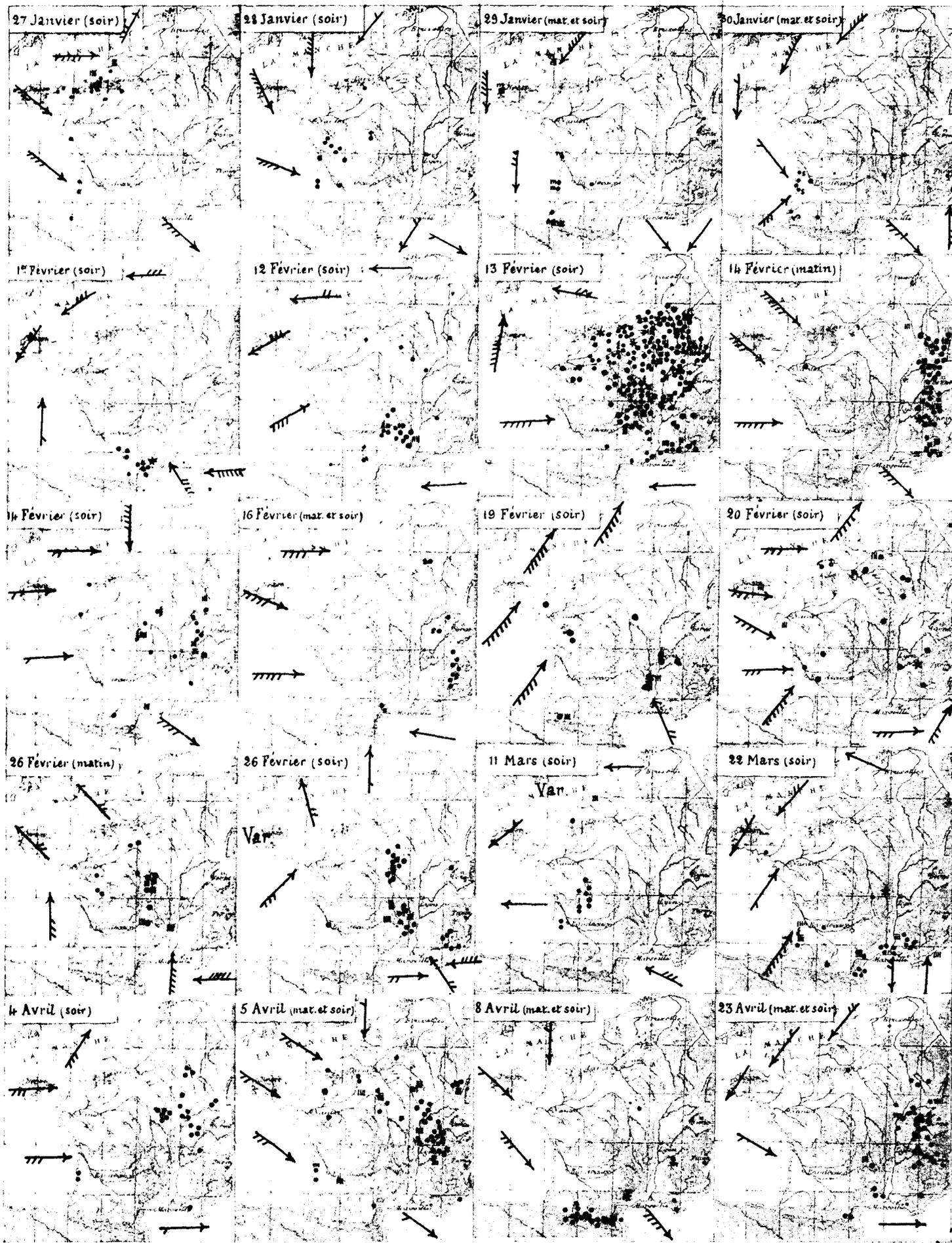
J 83

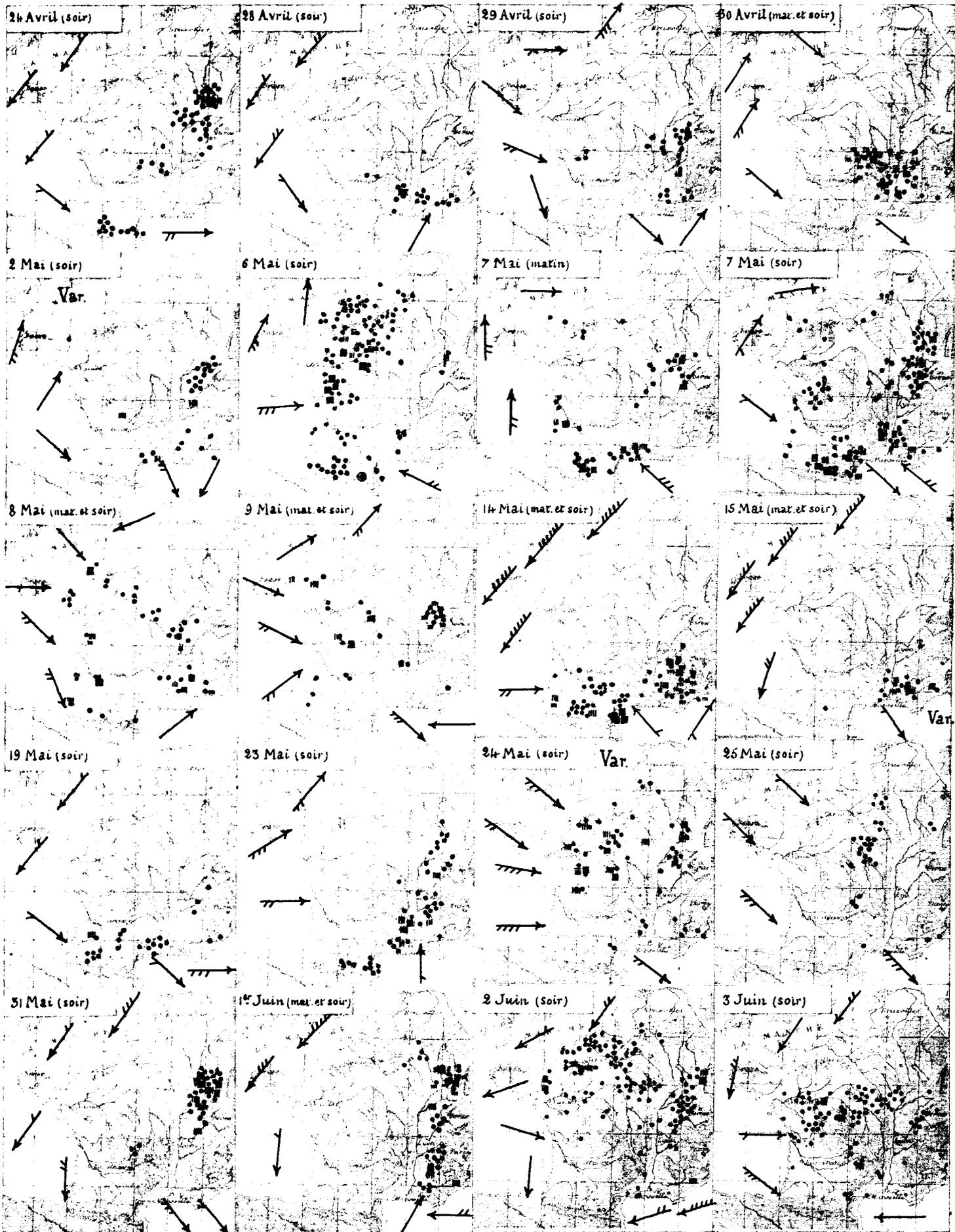
PROJECTIONS GÉOGRAPHIQUES.

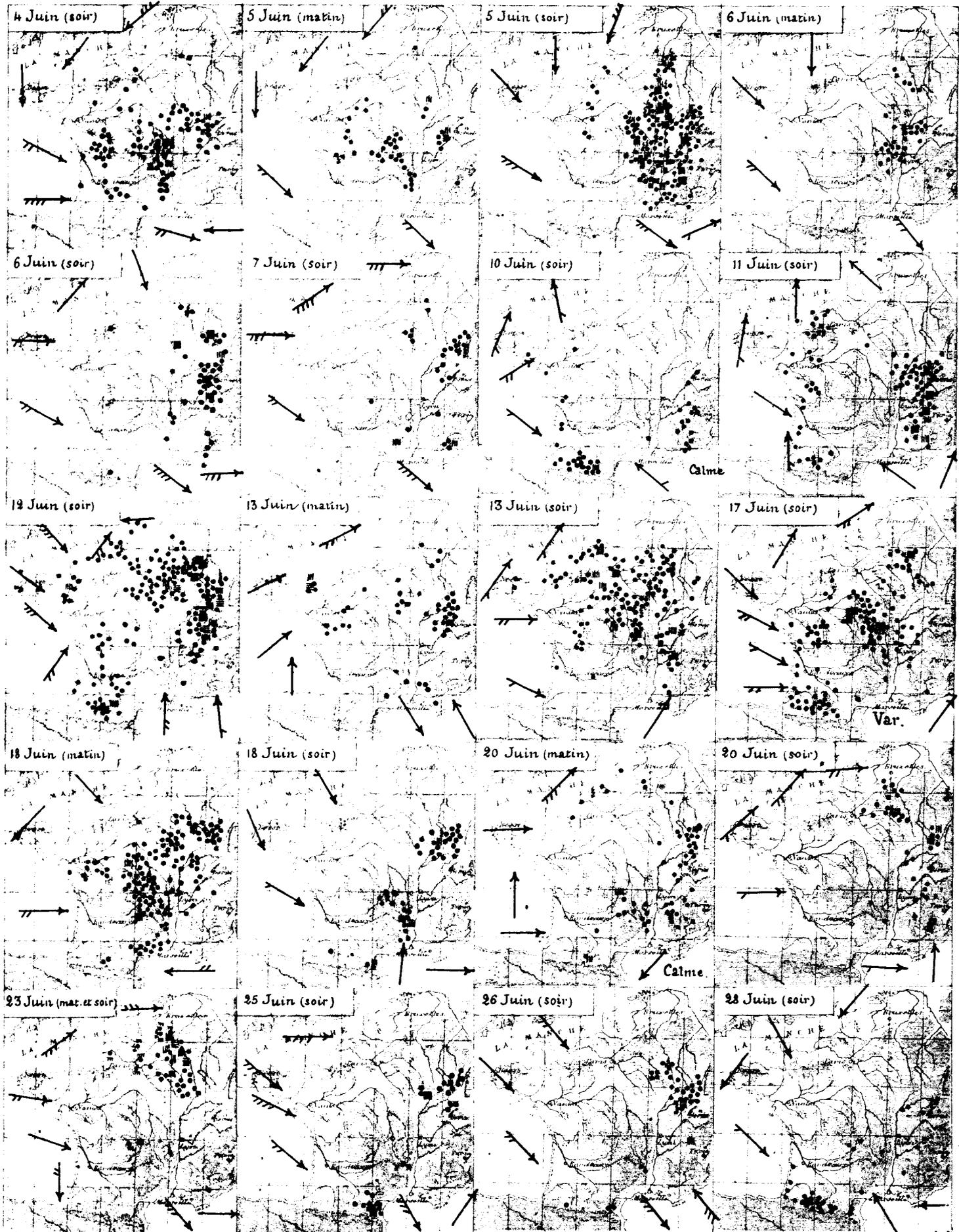
Nouvelle carte du *Bulletin international du Bureau central météorologique*, **1896, I, Angot** (34).



PLANCHES.



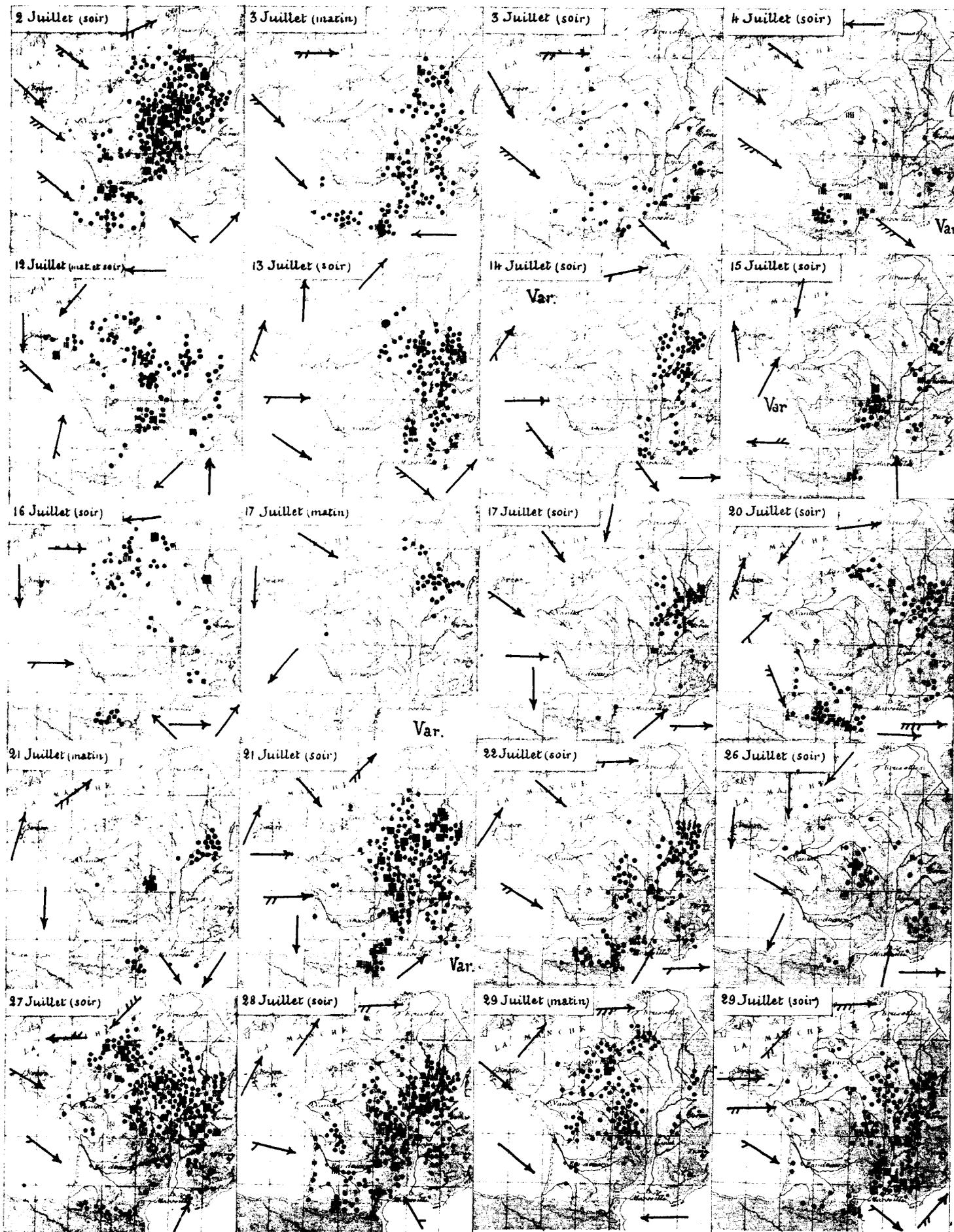




CARTES JOURNALIÈRES DES ORAGES DE L'ANNÉE 1900

Bureau central Météorologique de France.

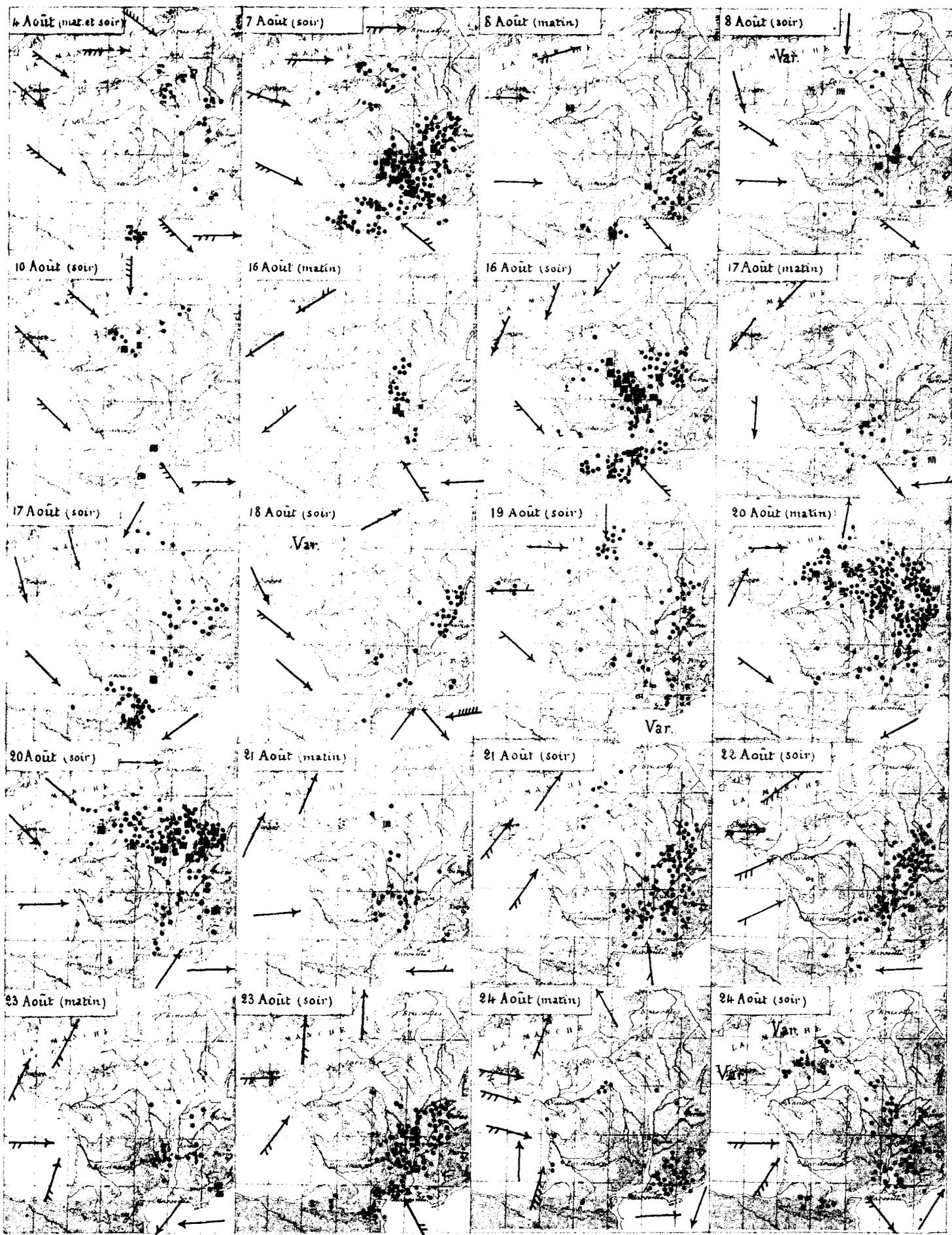
Annales de 1900. T. I. Pl. A. 4.

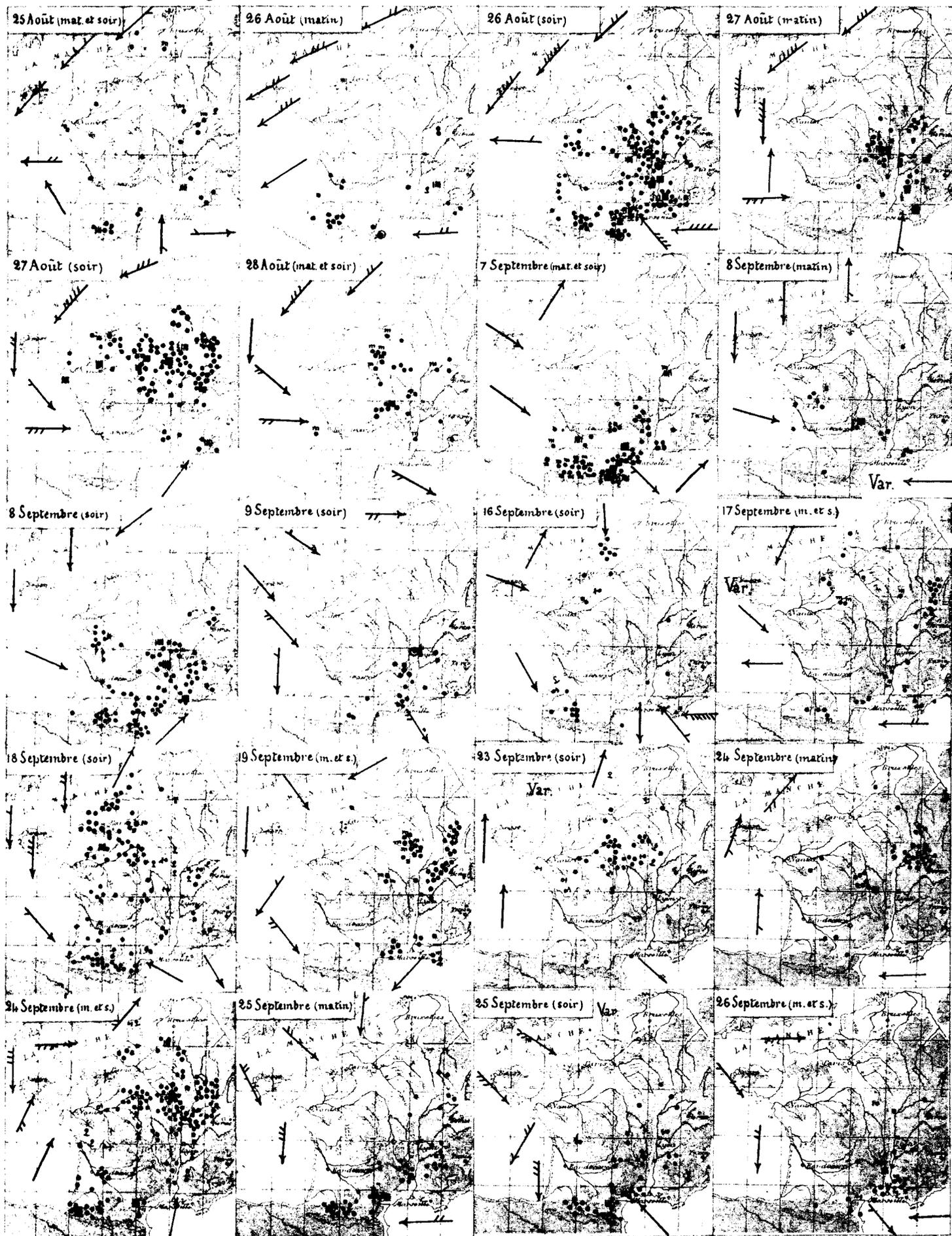


CARTES JOURNALIÈRES DES ORAGES DE L'ANNÉE 1900

Bureau central Météorologique de France.

Annales de 1900. T. I. Pl. A. 5.

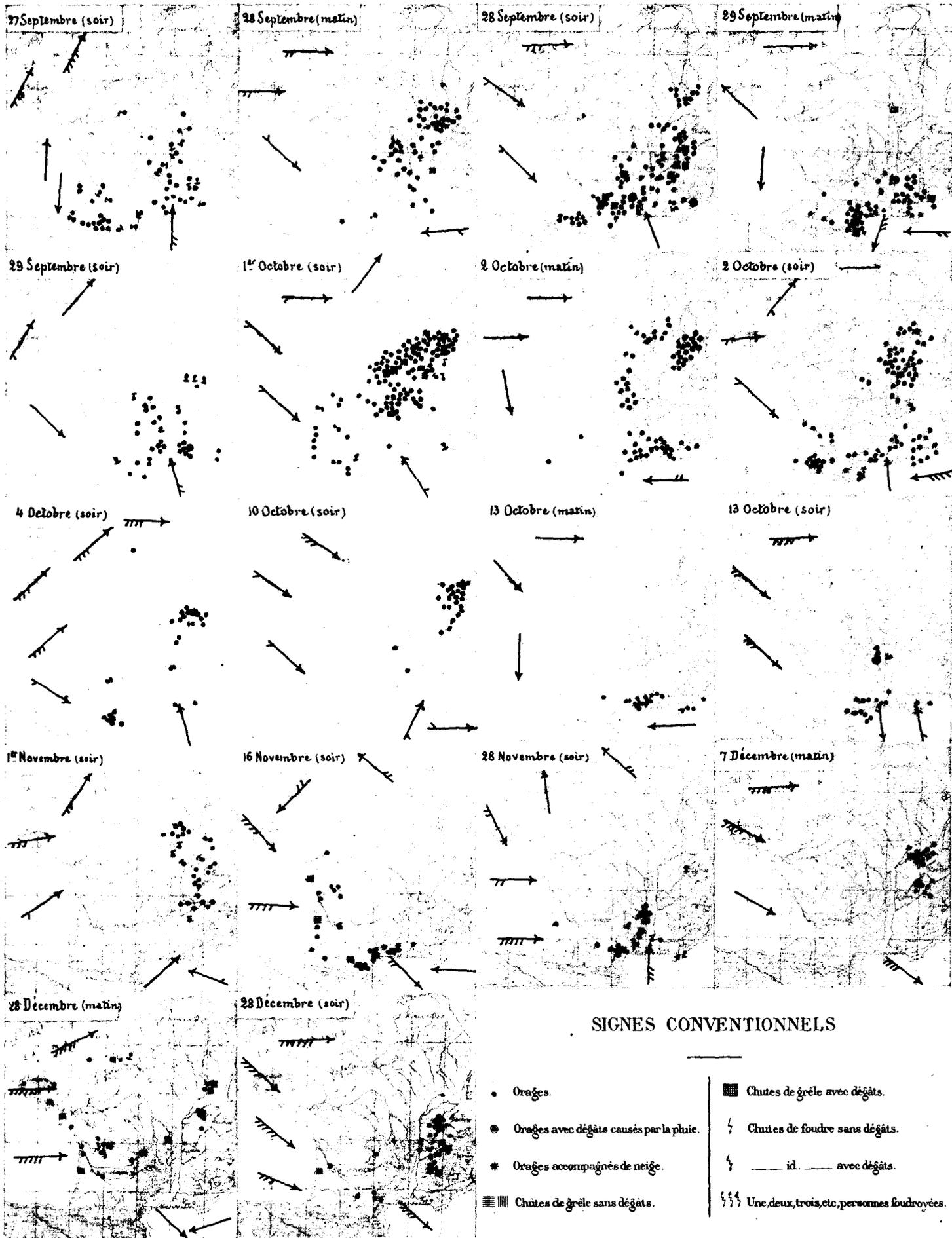




CARTES JOURNALIÈRES DES ORAGES DE L'ANNÉE 1900

Bureau central Météorologique de France.

Annales de 1900. T. I. Pl. A. 7.



SIGNES CONVENTIONNELS

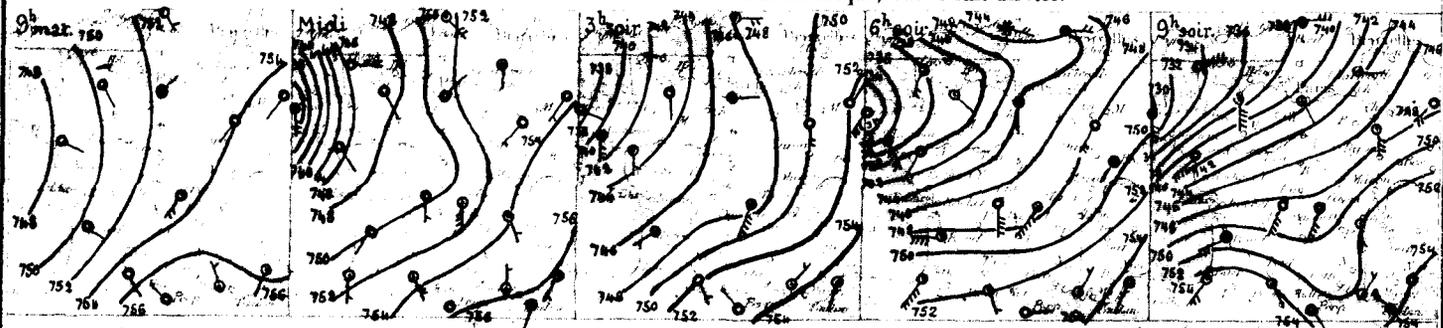
- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Orages. ● Orages avec dégâts causés par la pluie. * Orages accompagnés de neige. ▣ Chutes de grêle sans dégâts. | <ul style="list-style-type: none"> ■ Chutes de grêle avec dégâts. ⚡ Chutes de foudre sans dégâts. ⚡ — id. — avec dégâts. ⚡⚡⚡ Une, deux, trois, etc. personnes foudroyées. |
|--|---|

ORAGES DU 13 FÉVRIER 1900

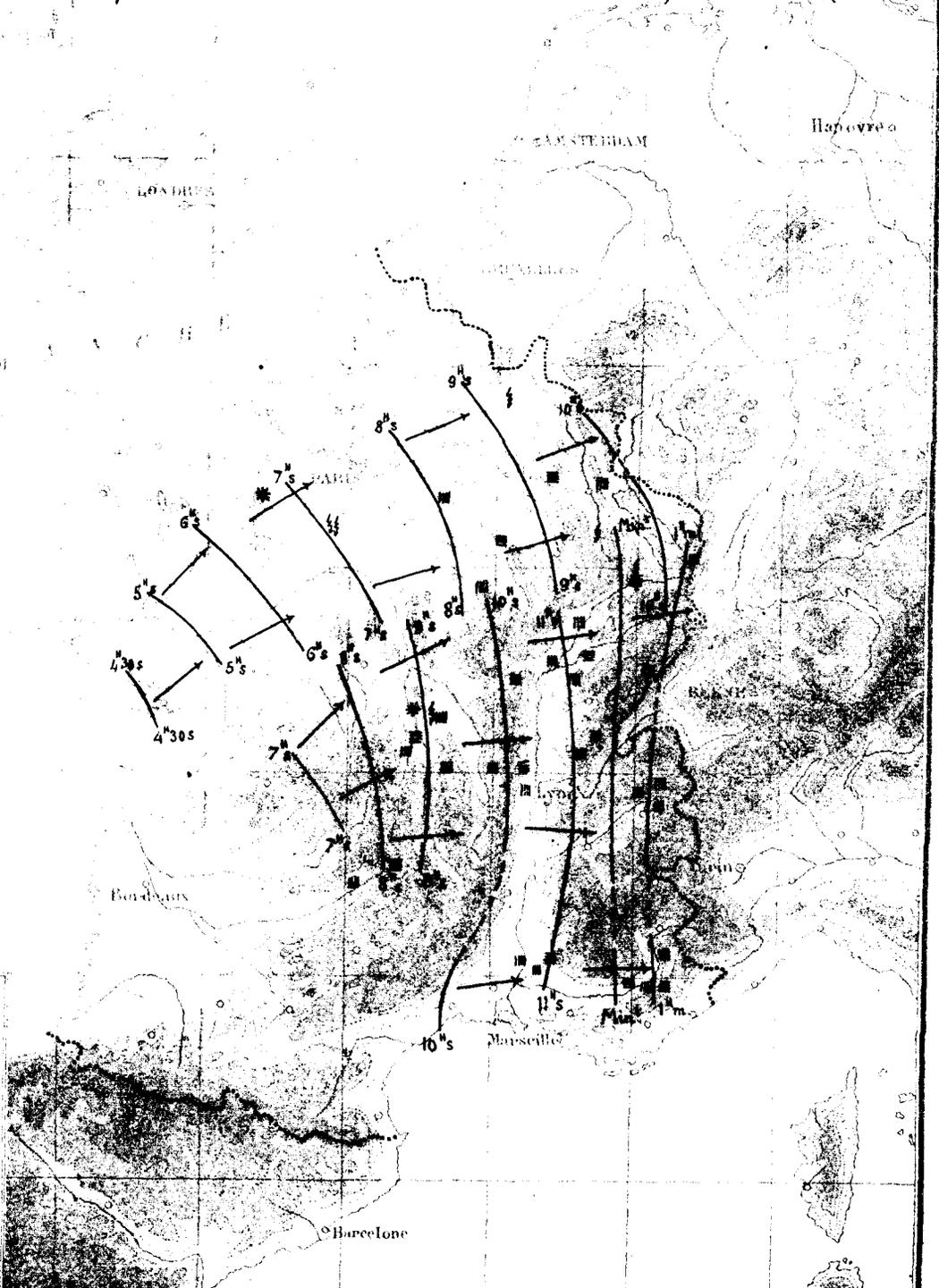
Bureau central Météorologique de France.

Annales de 1900. T. I. Pl. A. 8.

Observations trihoraires — Pression barométrique, vent et état du ciel.



DUBUIS



LÉGENDE

Les flèches indiquent le sens général de progression de l'orage.

Les lignes transversales réunissent les points sur lesquels l'orage a passé à la même heure.

* Orage accompagné de neige

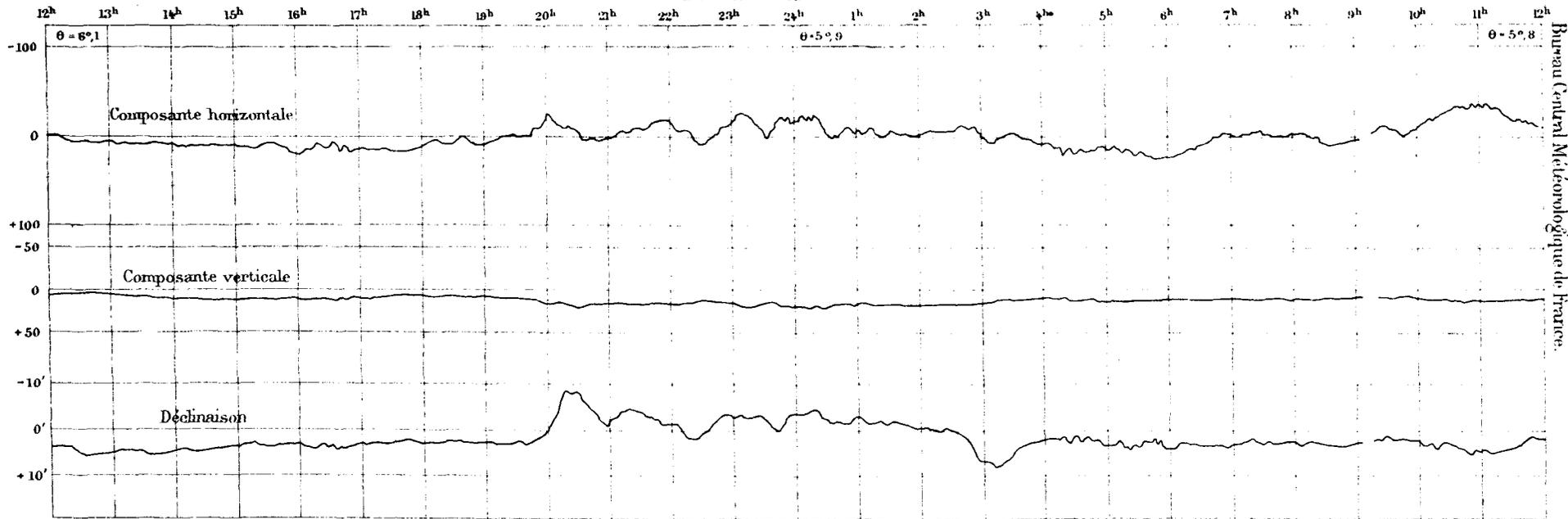
☐ Chutes de grêle sans dégâts

■ Dégâts produits par la grêle

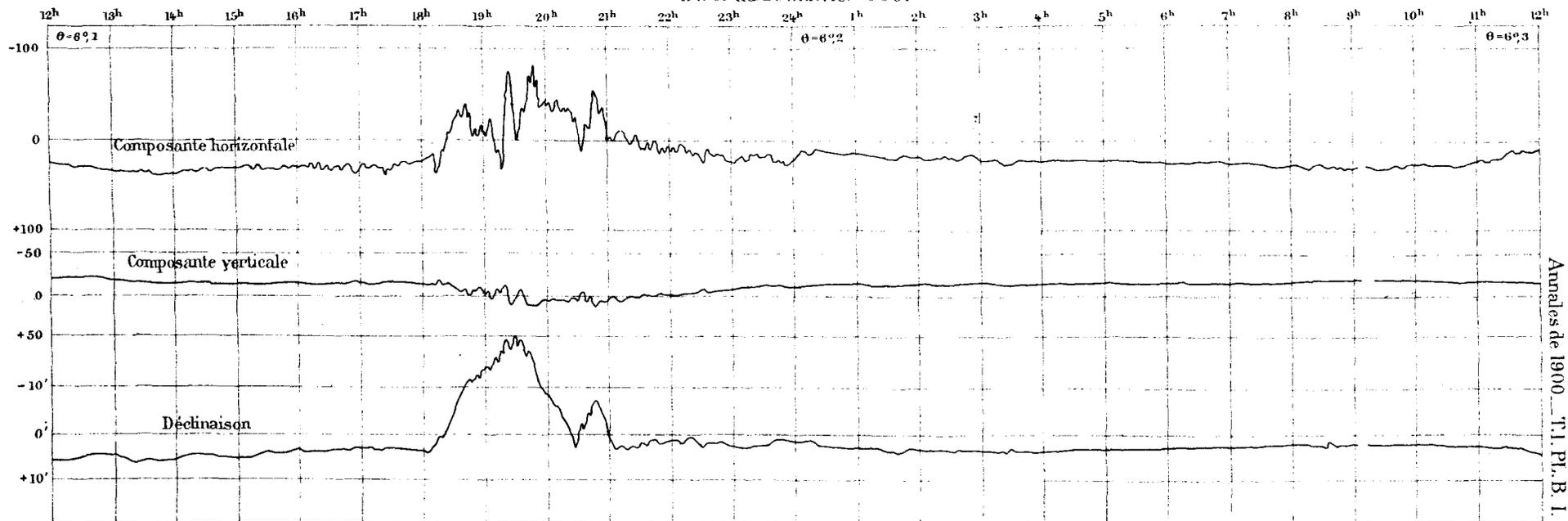
Chutes de foudre { Sans dégâts. 5
Avec dégâts. 3
Une, deux personnes tuées. 2/2

Nota: Les petites cartes placées à la partie supérieure représentent les isobares obtenues avec les observations faites dans les stations françaises.

Du 14 au 15 Janvier 1900.

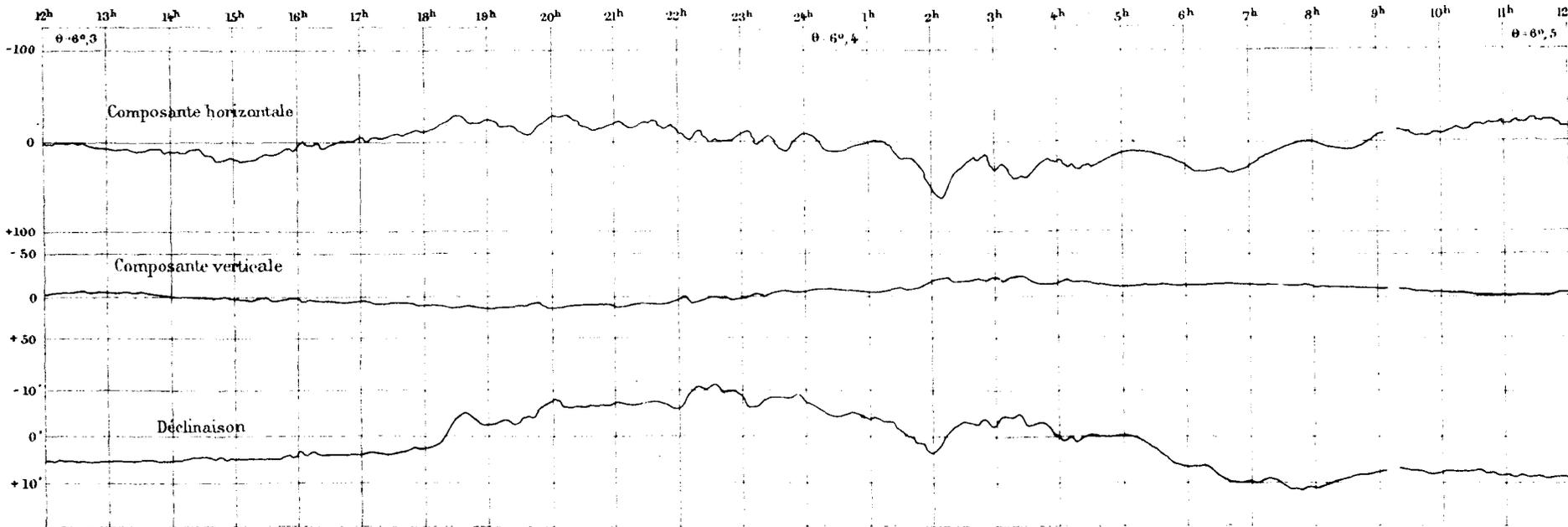


Du 19 au 20 Janvier 1900.



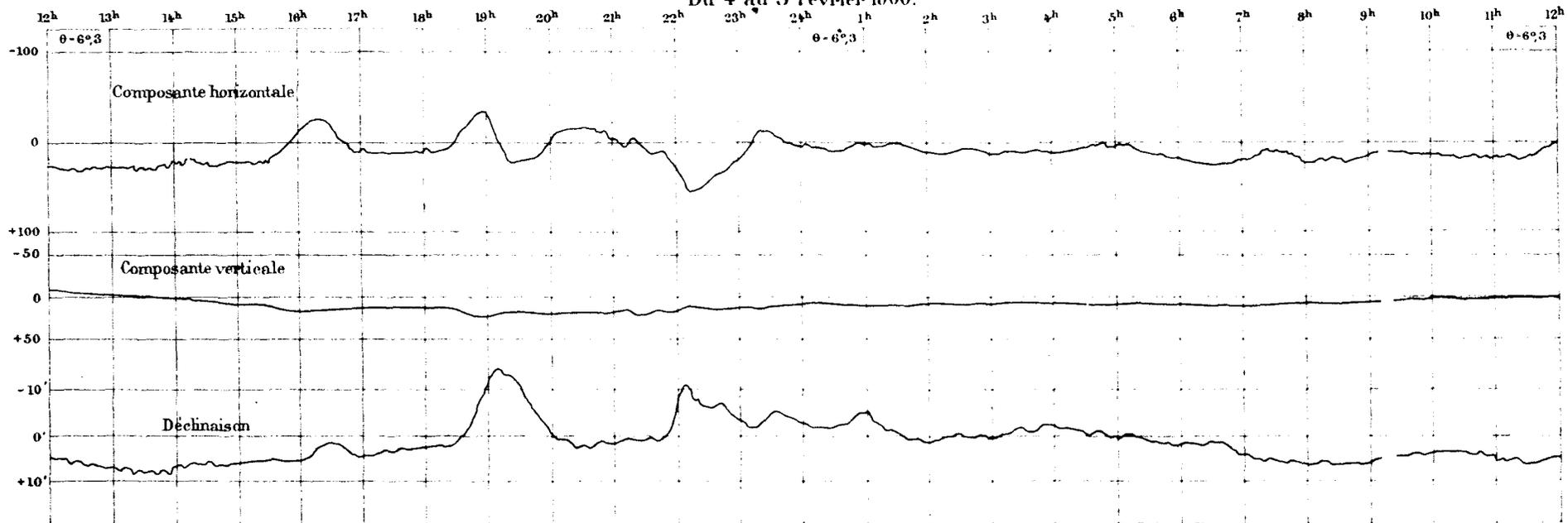
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1900.

Du 20 au 21 Janvier 1900.



Bureau Central Meteorologique de France.

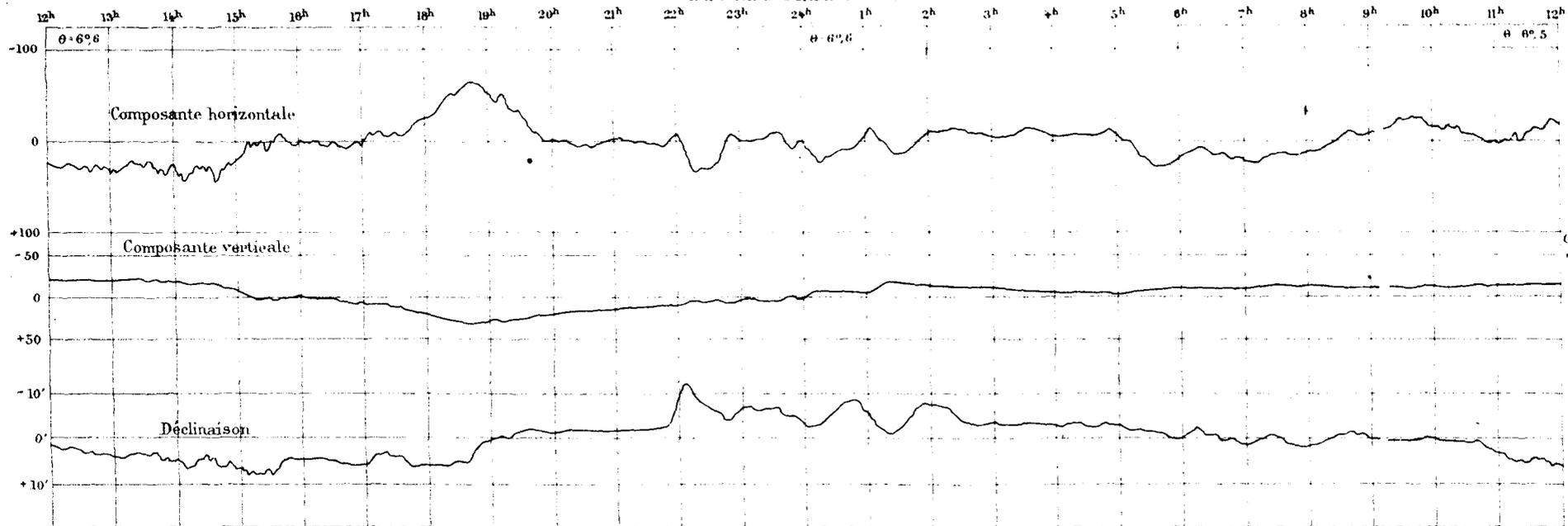
Du 4 au 5 Février 1900.



Annales de 1900 T.I. PL.B. II.

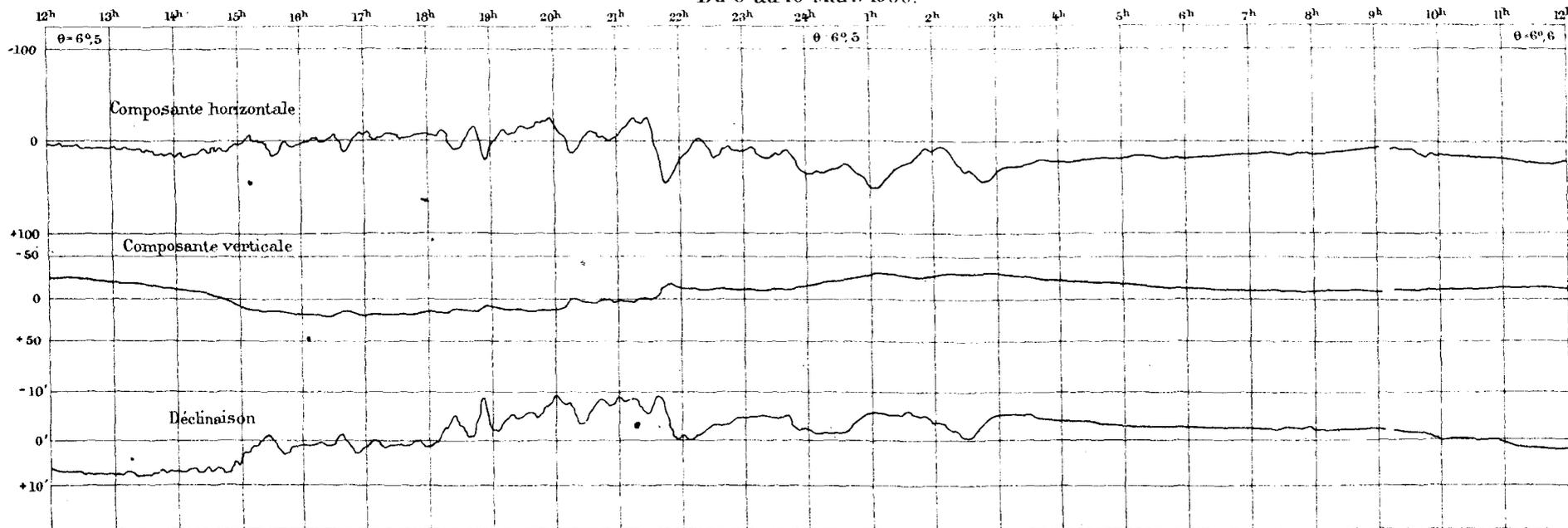
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1900.

Du 8 au 9 Mars 1900.



Bureau Central Météorologique de France.

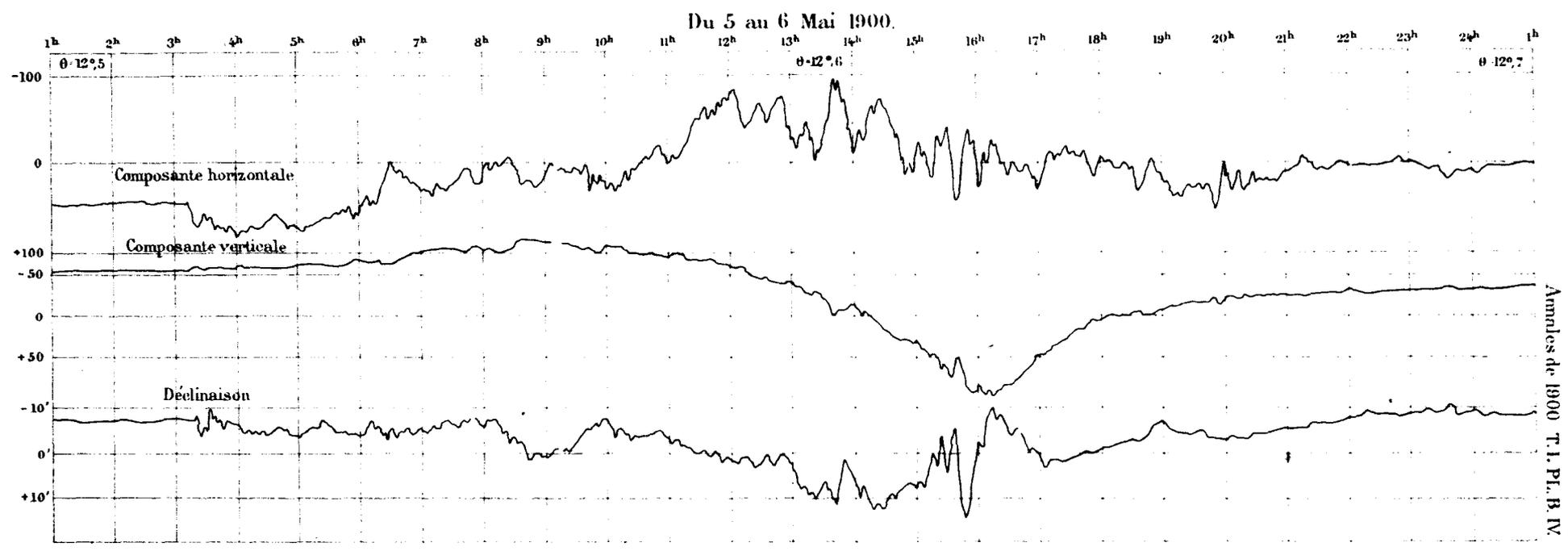
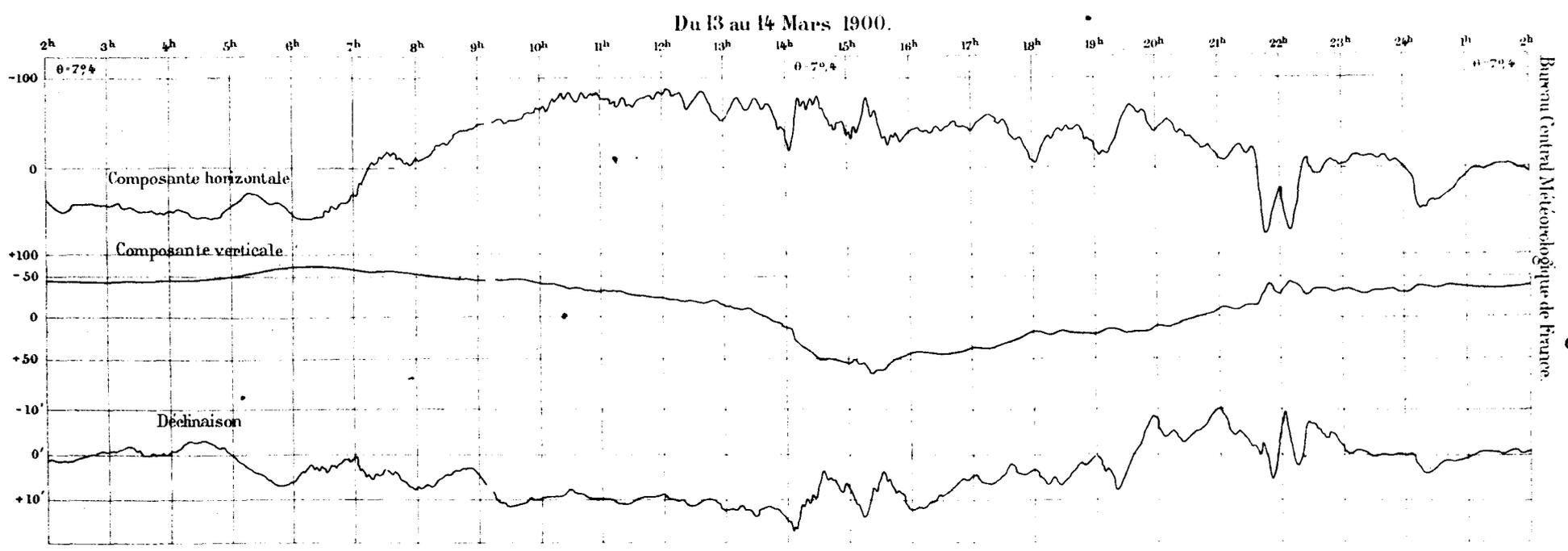
Du 9 au 10 Mars 1900.



Annales de 1900. T. I. Pl. B. III.

PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1900.

PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
 enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1900.



VARIATION DIURNE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

Bureau central météorologique de France.

Annales de 1900. — T. I. Pl. C.I

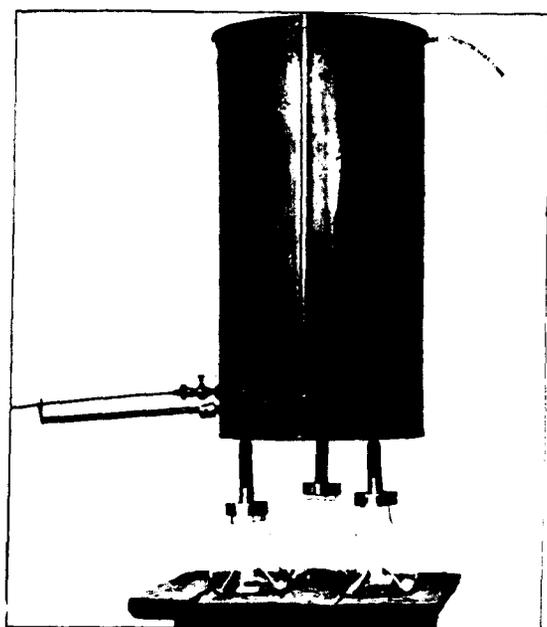


Fig. 1. — Collecteur ordinaire.

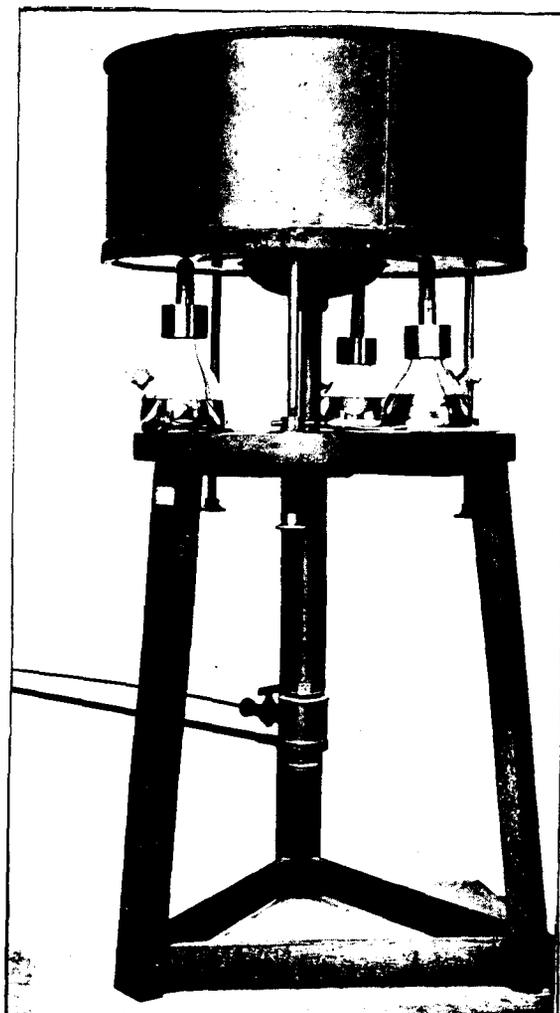


Fig. 2. — Nouveau modèle du collecteur.

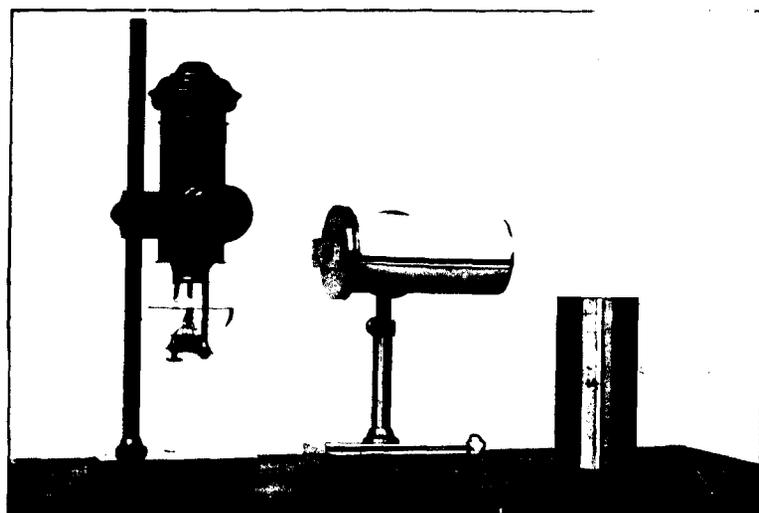


Fig. 3. — Enregistreur photographique à cylindre.

VARIATION DIURNE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHERIQUE.

Bureau central météorologique de France.

Annales de 1900. — T. I. Pl. C.II.

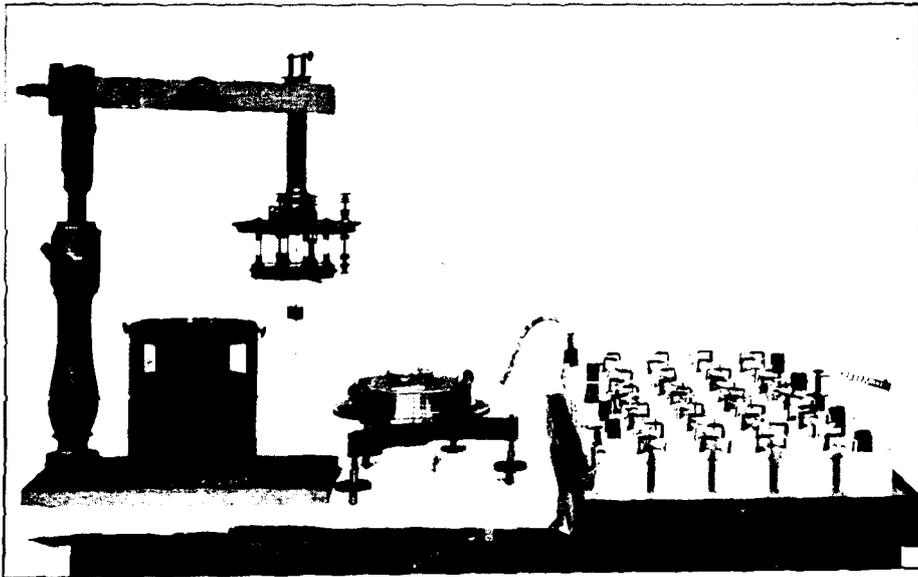


Fig. 7. — Électromètre avec vase à glycérine et piles.

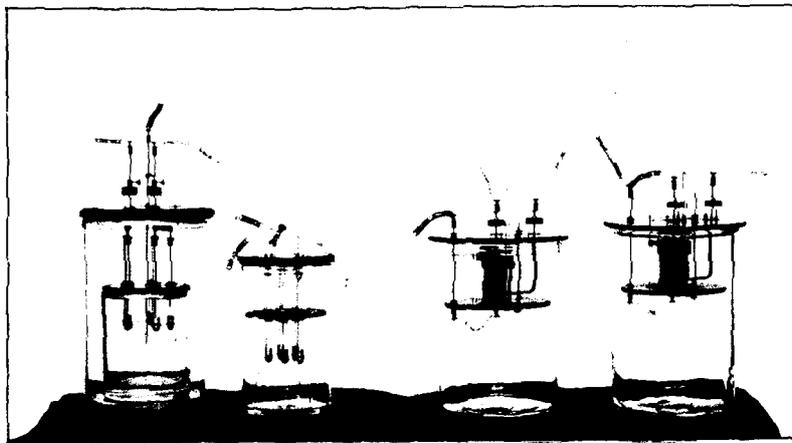


Fig. 8. — Cascades à bouteilles et à plateaux.

VARIATION DIURNE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHERIQUE.

Bureau central météorologique de France.

Annales de 1900. — T. I. Pl. C. III.

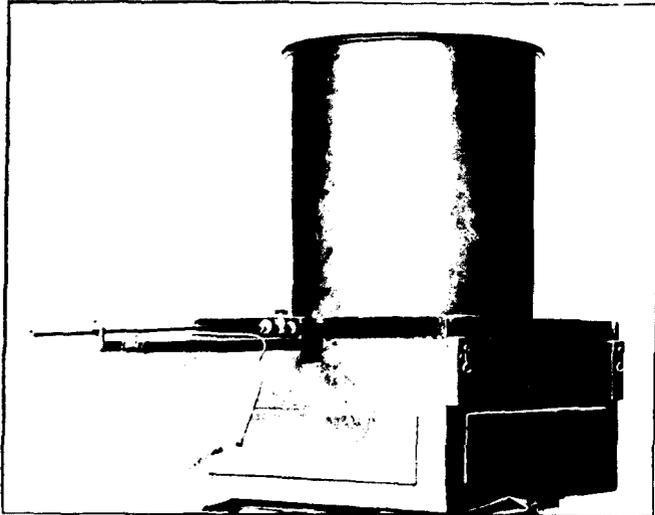


Fig. 9. — Premier collecteur de la Tour, avec le fond de la boîte renfermant les isoloirs.

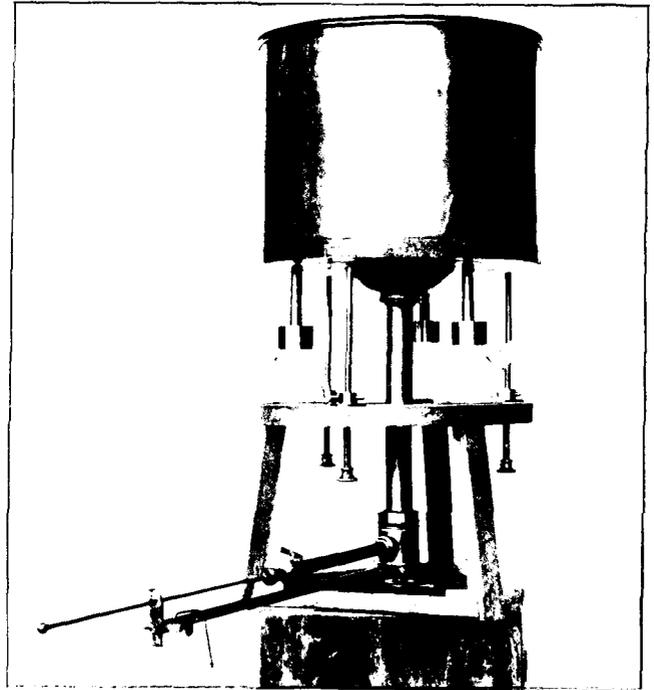


Fig. 12. — Collecteur de la Tour Eiffel.

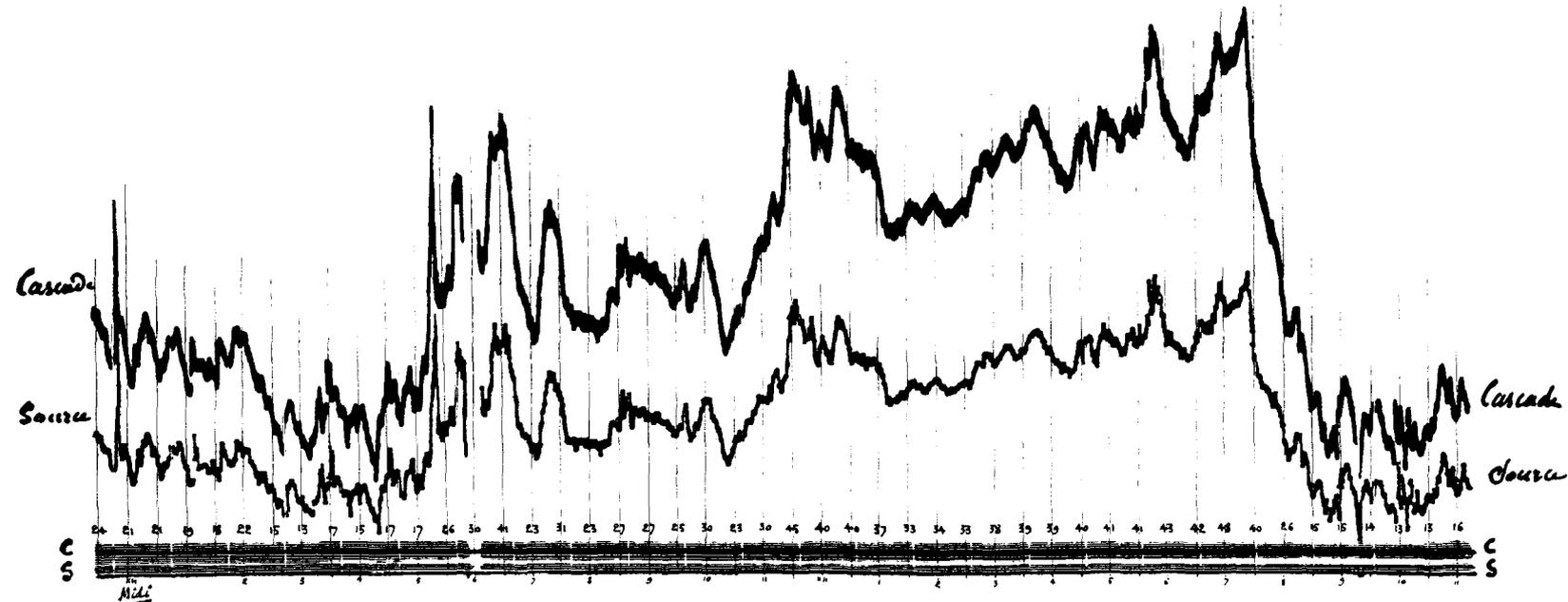


Fig. 13. — Salle de l'enregistreur.

COURBES POUR L'ÉTUDE DES CONDENSATEURS EN CASCADE

DU 6 AU 7 AVRIL 1893.

Cascade de 5 bouteilles (M) attelée à un électromètre de sensibilité 9 fois plus grande que celle de l'électromètre relié à la source.



Très belle journée. } Très beau ciel par vent d'E faible pendant le jour.
 Ciel très clair pendant la nuit par vent d'E modéré.
 Beau temps avec quelques traces de brume et vent faible de NE le matin du 7.

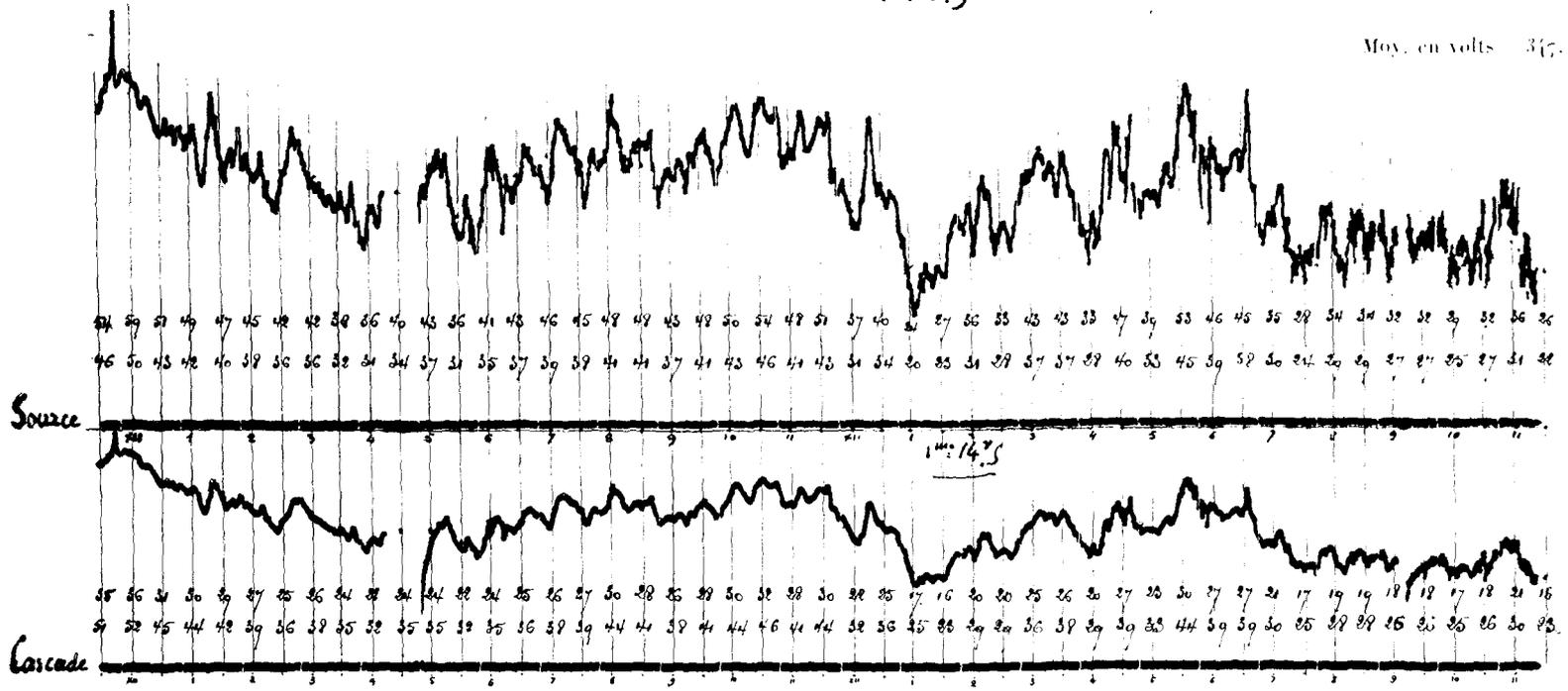
COURBES POUR L'ÉTUDE DES CONDENSATEURS EN CASCADE

Cascade de 5 bouteilles (M).

DU 15 AU 16 DECEMBRE 1893 (1)

1^{re} 8.5

Moy. en volts = 317.



Très belle journée. } Très beau ciel serein par vent de SSE faible pendant le jour; quelques cirrus (nébulosité 0) entre 1^h et 3^h p. m. Moy. en volts = 352.
 Min. Temp. } Très beau ciel serein avec lég. vapeur au niveau du sol (cette vapeur se condense sous forme de gelée blanche vers minuit).
 - 2°, 0. } Beau ciel le matin du 16 avec brume à l'horizon; se couvre complètement de brume vers 11^h par vent de S faible (forte gelée blanche).

(1) Réduction aux $\frac{1}{5}$ environ, dont il faut tenir compte pour corriger les valeurs des ordonnées en millimètres ainsi que les valeurs du millimètre en volts

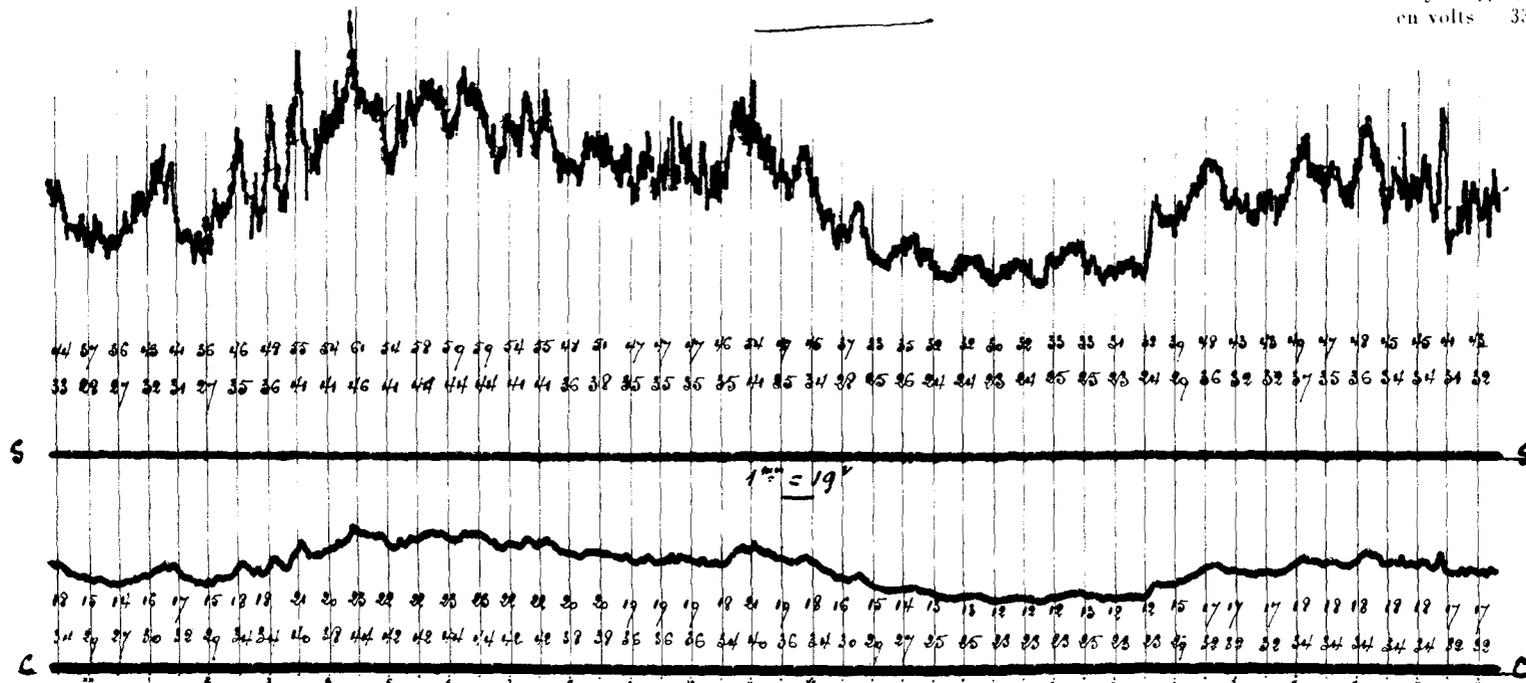
COURBES POUR L'ETUDE DES CONDENSATEURS EN CASCADE

Cascade de 5 bouteilles (M')

DU 2 AU 3 DÉCEMBRE 1893 (1)

1^{mm} = 7,5^v

Moy. = 44^{mm}, 2,
en volts = 332.



Très belle journée. { Très beau ciel par vent d'ENE faible pendant le jour (quelques cirrus vers 1^h p. m., nébul. o).
 Min. Temp. { Très beau ciel transparent pendant la nuit.
 — 2°, 8. { Très beau ciel par vent de NE le matin du 3.

Moy. = 17^{mm}, 4,
en volts = 331.

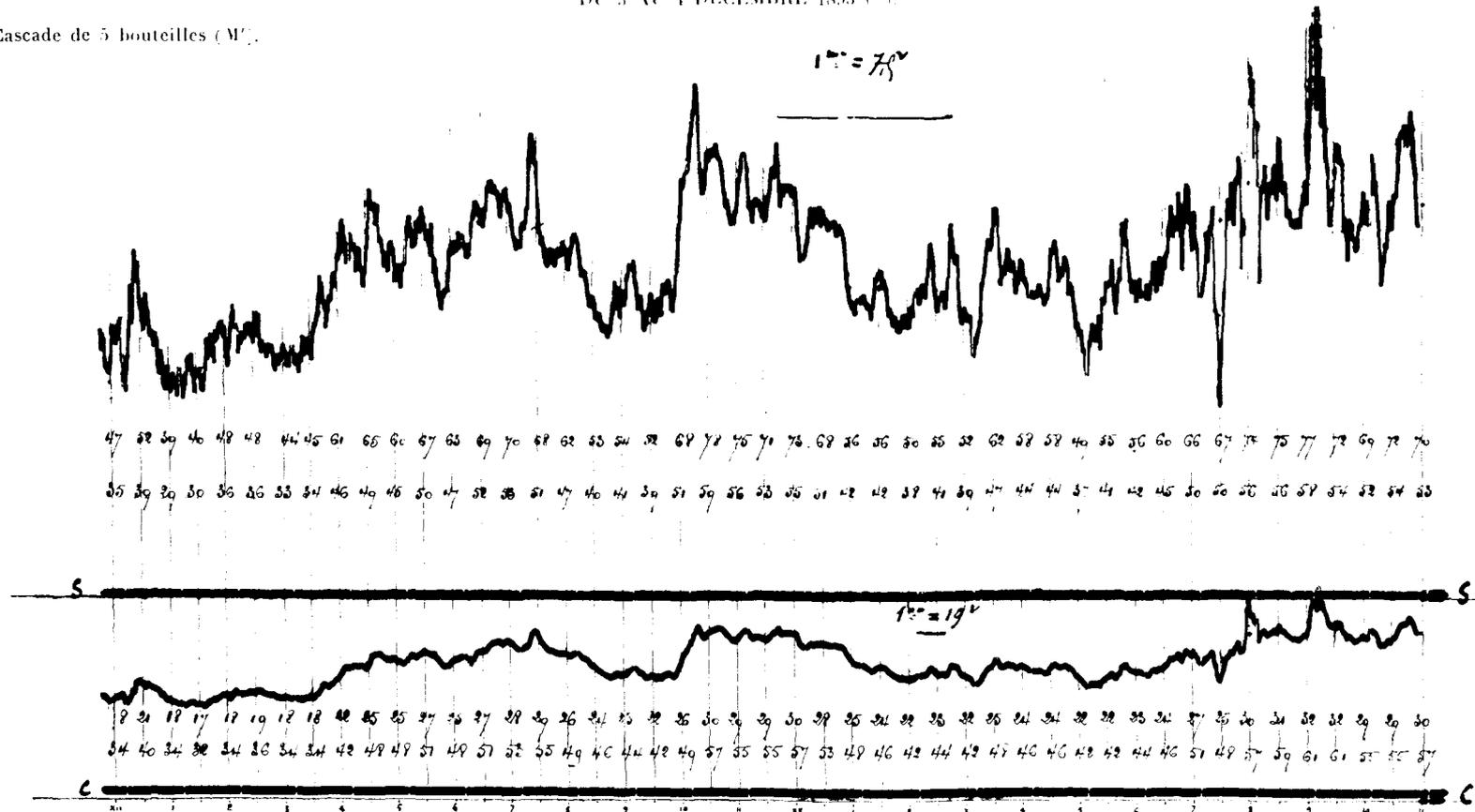
(1) Réduction aux $\frac{2}{3}$ environ, dont il faut tenir compte pour corriger les valeurs des ordonnées en millimètres ainsi que les valeurs du millimètre en volts.

COURBES POUR L'ÉTUDE DES CONDENSATEURS EN CASCADE

DU 3 AU 4 DÉCEMBRE 1893 (1).

Moy. 60^{mm},6,
en volts = 156.

Cascade de 5 bouteilles (M').



Belle journée. } Très beau ciel avec quelques cirrus à l'horizon (nébul. o) et vent de NE modéré pendant le jour.
 Min. Temp. } Très beau ciel transparent par vent de NW faible pendant la nuit.
 — 5°,9. } Ciel couvert et léger brouillard au sol par vent de WSW faible le matin du 4.

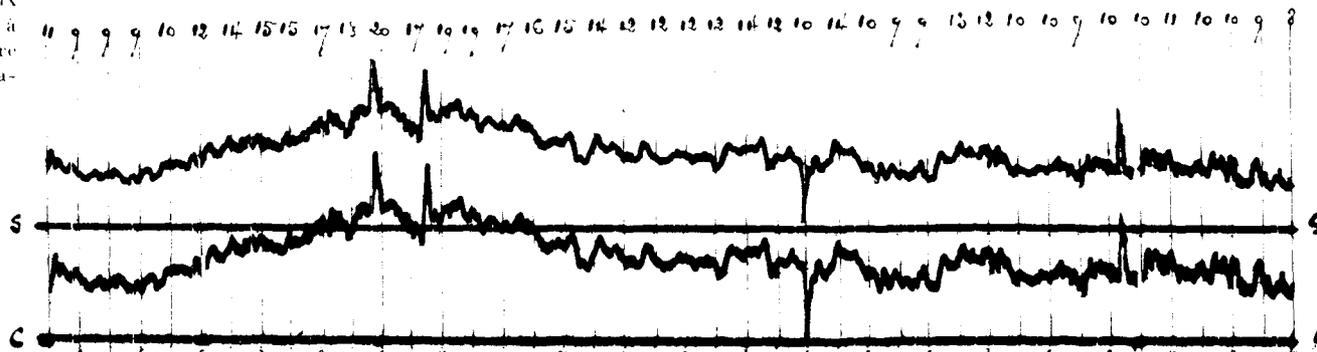
Moy. 54^{mm},8,
en volts = 173.

(1) Réduction aux $\frac{2}{3}$ environ, dont il faut tenir compte pour corriger les valeurs des ordonnées en millimètres ainsi que les valeurs du millimètre en volts.

COURBES POUR L'ETUDE DES CONDENSATEURS EN CASCADE

DU 9 AU 10 AVRIL 1895.

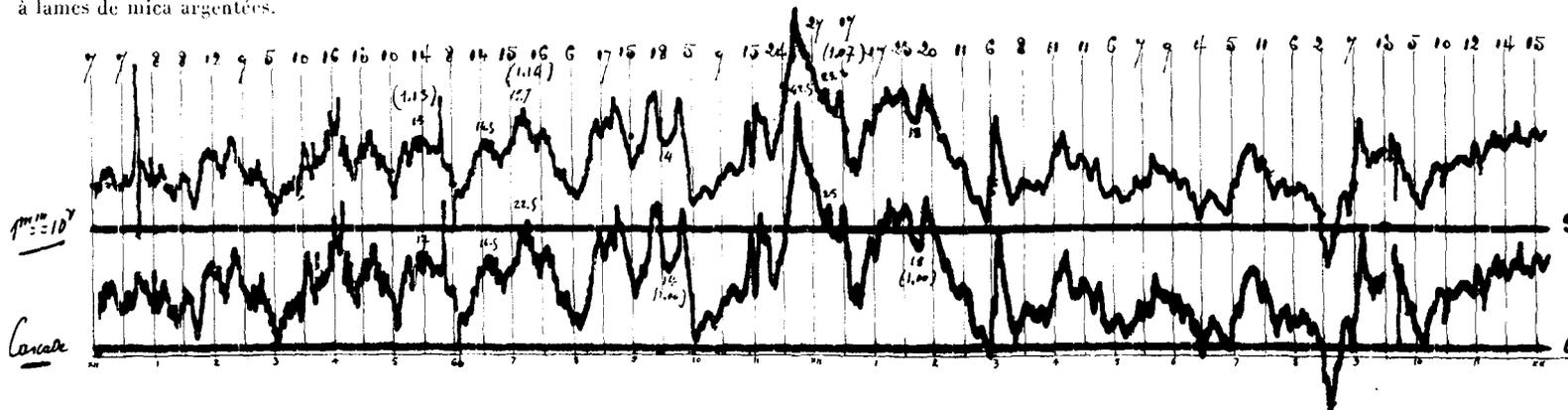
Cascade à plateaux de 5 éléments à lames de verre très minces, étamées.



Max. Temp. 18° 5/10. } Ciel généralement couvert ou très nuageux de 3^h à 5^h p. m. par vent de SSW faible.
 Min. Temp. 5° 0/10. } Ciel serein et très transparent de 8^h à 12^h p. m.; quelques petits cirro-stratus (nébul. 0) et vent de SSE très faible à 12^h 30 p. m.
 Quelques cirrus (nébul. 0) et vent de SSW faible le matin du 10 (gelée blanche à Saint-Maur).

Cascade à plateaux de 3 éléments à lames de mica argentées.

DU 20 AU 21 MARS 1895.



Max. Temp. 10° 0/10. } Ciel couvert pendant toute la journée par vent de WNW faible pendant le jour (pluie fine avec accalmies toute la journée).
 Min. Temp. 6° 0/10. } Ciel couvert pendant la nuit par vent de NW faible pendant le jour (pluie fine avec accalmies toute la nuit).
 Ciel couvert le matin du 21 (la pluie cesse à Saint-Maur vers 4^h a. m.).

SPÉCIMEN DES COURBES OBTENUES A LA TOUR EIFFEL

Tour Eiffel.

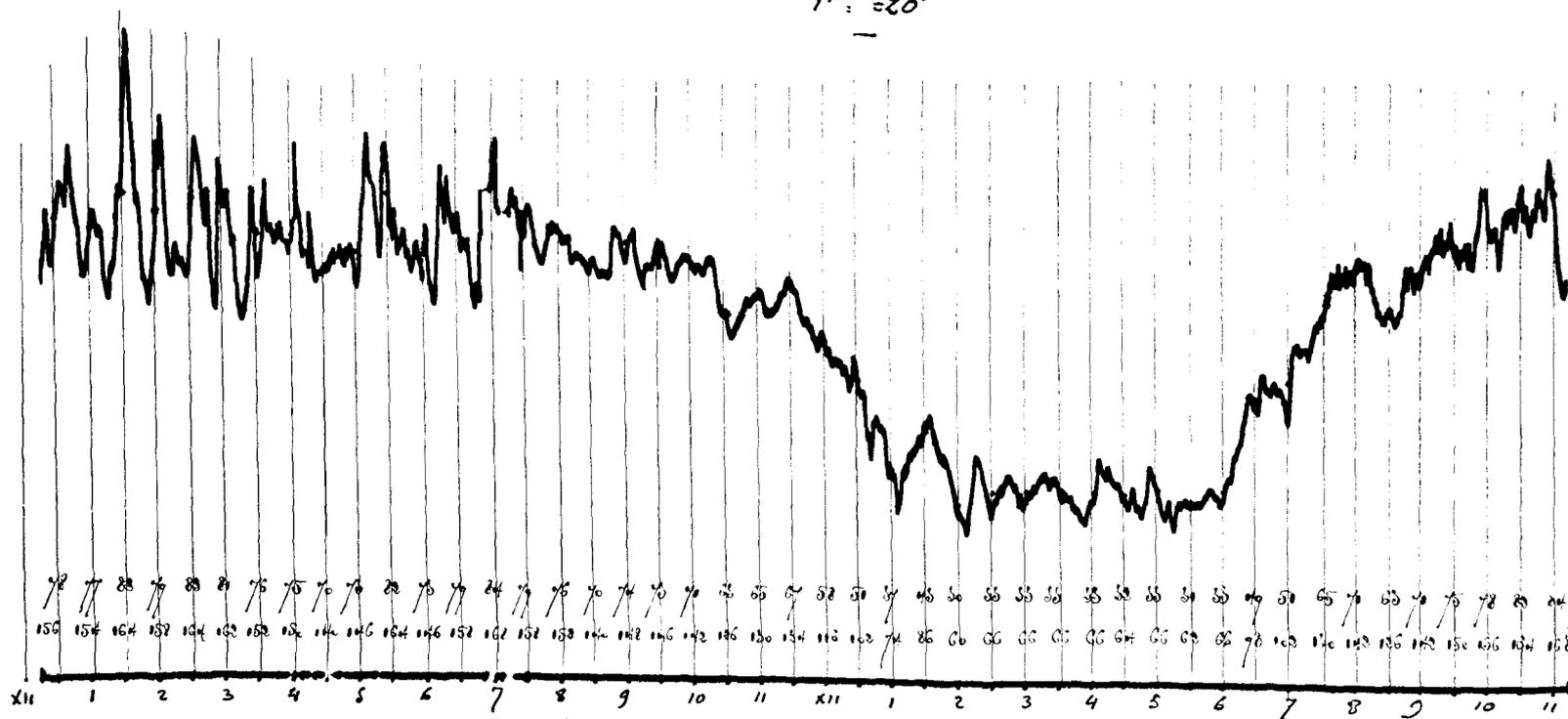
(Sans cascade.)

Pot. à 0^m,35.

DU 7 AU 8 JUILLET 1898.

Moy. 106500.

1^{mm} = 20^v



Ciel peu nuageux ou nuageux par vent de NW, faible l'après-midi.

— à 7^h p. m. et serein de 8^h à 11^h 30.

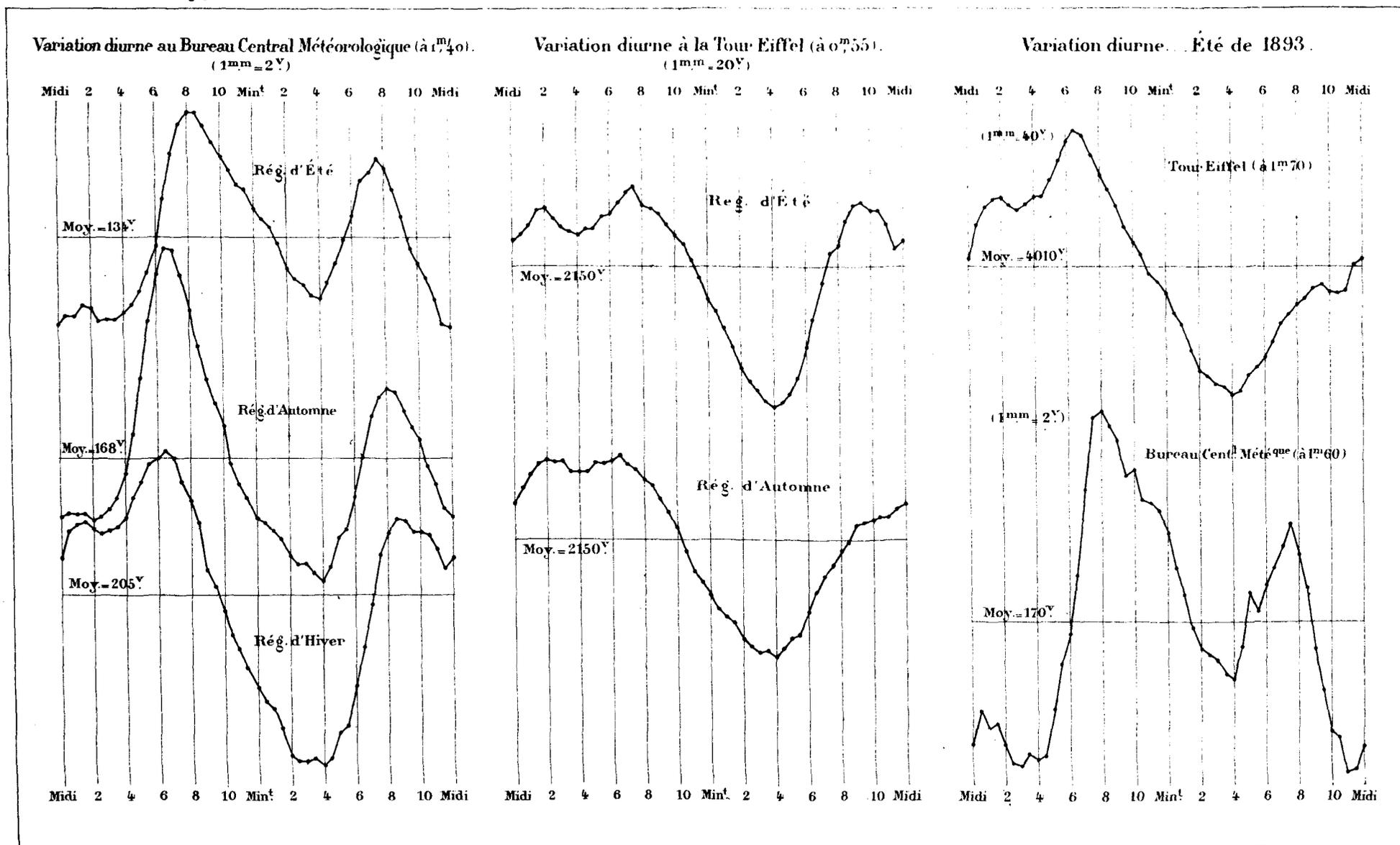
— ou nuageux par vent de NW modéré le matin du 8 (très nuageux à 7^h à Saint-Maur).

(*) Réduction aux $\frac{1}{3}$ environ, dont il faut tenir compte pour corriger les valeurs des ordonnées en millimètres ainsi que les valeurs du millimètre en volts.

VARIATION DIURNE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

Bureau Central Météorologique de France.

Annales de 1900...T. I. Pl. C. XII



Gravé par E. Morieu.

Lith. Dufrenoy, Paris.

VARIATION DIURNE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

Bureau Central Météorologique de France.

Annales de 1900_T. I. Pl. C. XIII

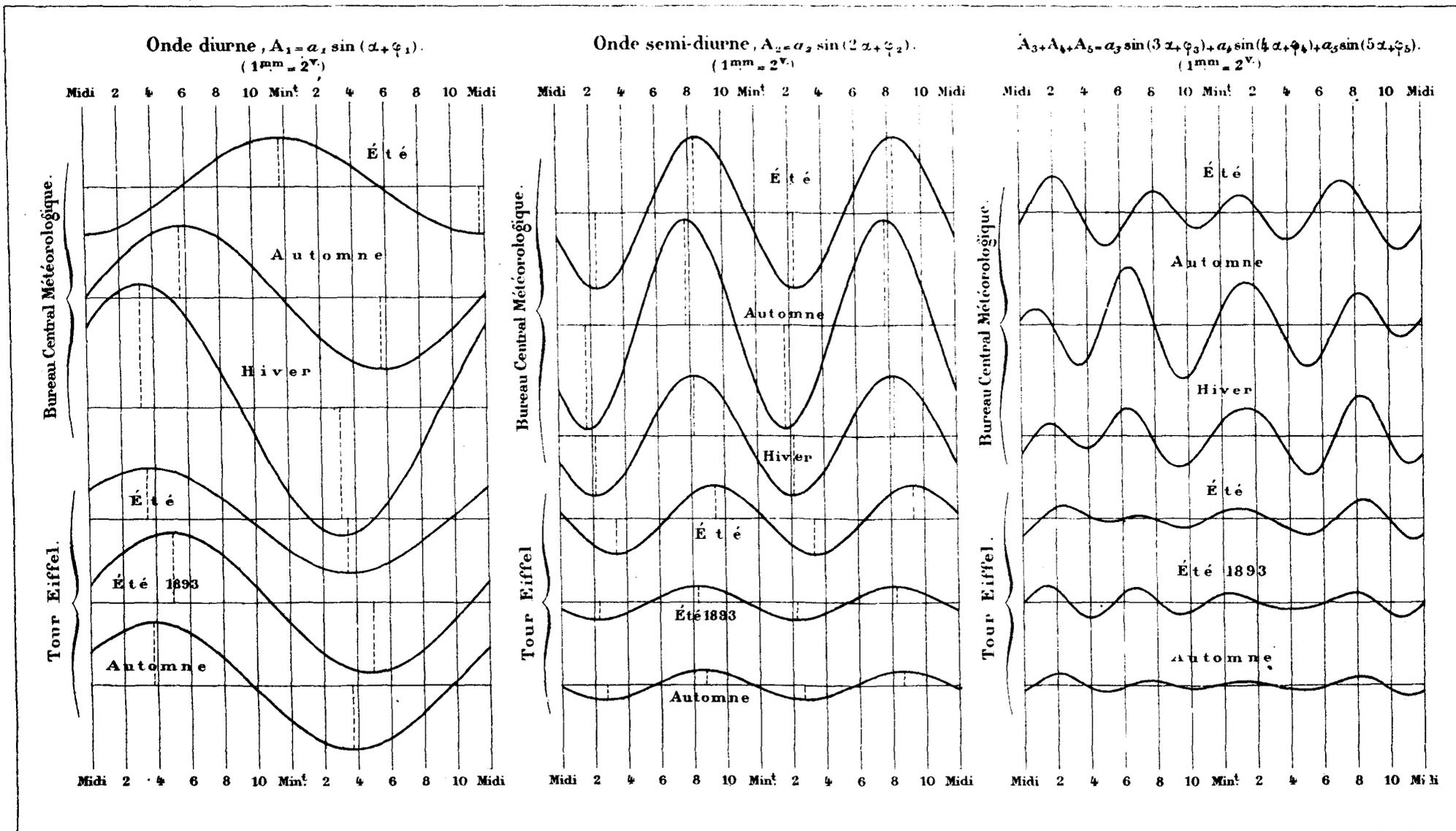


TABLE DES MATIÈRES.

TEXTE.

	Pages.
INTRODUCTION	I
RAPPORT lu, le 29 mai 1901, à la séance générale du Conseil du Bureau central météorologique par M. BOUQUET DE LA GRVE. Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes, Président du Conseil.	III
MÉMOIRES.	
Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1900, par M. E. FRON.	A. 1
Observations magnétiques faites à l'observatoire du Parc Saint-Maur, pendant l'année 1900, par M. MOUREAUX.	B. 1
Observations magnétiques faites à l'observatoire de Perpignan, pendant l'année 1900, par M. CŒURDEVACHE, sous la direction de M. le D ^r FINES.	B. 21
Études sur le climat de la France. Température. Première Partie : Stations de comparaison (fin), par M. ALFRED ANGOT.	B. 33
Recherches sur l'électricité atmosphérique. Second Mémoire. Étude de la variation diurne de l'électricité atmosphérique, par M. A.-B. CHAUVEAU.	C. 1
Table générale par noms d'auteurs des Mémoires contenus dans les Tomes I et IV des <i>Annales du Bureau central météorologique</i> pour les 23 premières années, 1878-1900.	1
Table générale analytique des Mémoires contenus dans les Tomes I et IV des <i>Annales du Bureau central météorologique</i> pour les 23 premières années, 1878-1900.	41

PLANCHES.

	Planches.
Cartes journalières des orages de l'année 1900 (Mémoire de M. Fron)	A. 1 à A. 8
Principales perturbations magnétiques enregistrées à l'observatoire du Parc Saint-Maur en 1900 (Mémoire de M. Moureaux)	B. 1 à B. 4
Recherches sur l'électricité atmosphérique (Mémoire de M. Chauveau)	C. I à C. XIII

FIN.

30313 Paris. - Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE.

ANNALES

DU

BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE

DE FRANCE,

PUBLIÉES

PAR E. MASCART,

DIRECTEUR DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE.

ANNÉE 1900.

I.

MÉMOIRES.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1902